

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
Curso académico (2017-2018)

Trabajo Fin de Grado

“ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES”

Autor: HAMZA AMSELEM

Tutora

Mónica Chinchilla Sánchez

Marzo 2018



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons
Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dedicar este apartado a dar las gracias a todos los que me han acompañado durante estos últimos años.

En primer lugar, a mis padres Ahmed y Hafida, por todo lo que me han ofrecido durante mis estudios y por todo tipo de apoyo que he recibido por sus partes y sin ellos esto hubiera sido imposible para mí.

A mi hermano Nosair por su apoyo inagotable durante los momentos más difíciles. Su presencia me hace más fuerte y es una pieza fundamental en todos mis éxitos.

A mis abuelos y familiares, en especial a mi abuela Khadouj por haberme dado todo el amor y el cariño desde que nací, Te AMO.

A mi tutora Mónica Chinchilla por su ayuda, por todo lo que me ha ofrecido para hacer este trabajo, y que ha sido un enorme placer tenerla como profesora y como tutora de mi trabajo fin de grado.

A mi profesor del ciclo formativo de grado superior Ramon Vidal Madrigal, que es la primera persona que me animó y me propuso seguir mis estudios y hacer una ingeniería.

A todos los profesores que he tenido durante la etapa de mis estudios tanto en España como en Marruecos,

Finalmente, a la universidad Carlos III de Madrid, en especial al departamento de ingeniería eléctrica por todo lo que hacen para hacernos llegar lo mejor de esta carrera universitaria.

MUCHAS GRACIAS

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	MOTIVACIÓN	1
1.2.	OBJETIVO DEL TRABAJO FIN DE GRADO	1
1.3.	LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIO AMBIENTE	2
2.	LAS BATERÍAS DE LOS TELÉFONOS MÓVILES	3
2.1.	CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS	3
2.2.	FASES DE CARGA DE LAS BATERÍAS	4
2.3.	CARGADOR DE BATERIA.....	5
2.3.1.	Cargador común (AC-DC)	5
2.3.2.	Cargador DC-DC.....	5
3.	LOS CARGADORES SOLARES FOTOVOLTAICOS	7
3.1.	TIPOS DE CARGADORES SOLARES.....	7
3.1.1.	Cargador solar con batería externa.....	7
3.1.2.	Cargadores solares sin batería externa	8
3.2.	PANELES FOTOVOLTAICOS	8
3.2.1.	Generación de electricidad en los módulos fotovoltaicos	8
3.2.2.	proceso de fabricación de células solares.....	9
3.2.3.	Tipos de módulos	10
3.3.	LOS REGULADORES DE CARGA.....	22
3.3.1.	Regulador PWM.....	22
3.3.2.	Regulador MPPT.....	22
3.4.	CARGADORES SOLARES EN EL MERCADO	23
3.4.1.	Cargadores solares sin batería	23
3.4.2.	Cargadores solares con batería.....	26
3.4.3.	Otros Cargadores solares	30
4.	ENSAYOS Y MEDICIONES	32
4.1.	EQUIPOS DE PRUEBA.....	32
4.2.	MEDICIONES	35
4.3.	OBTENCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA MEDIANTE MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO	58
5.	CONCLUSIONES	61
5.1.	CONCLUSIONES TÉCNICAS	61
5.1.	CONCLUSIONES PERSONALES	62

6.	BIBLIOGRAFÍA.....	64
7.	ANEXOS.....	66
7.1.	EJEMPLO DE TABLA DE DATOS DEL ENSAYO DE SEPTIEMBRE .	66
7.2.	EJEMPLO DE TABLA DE ENSAYOS DEL MES DE ENERO	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Fases de carga de una batería [Elaboración propia]	4
Fig. 2.2 Esquema eléctrico de un cargador AC/DC [21]	5
Fig. 2.3 Esquema eléctrico de un cargador DC/DC [3]	6
Fig. 3.1 Célula solar expuesta al sol [7]	8
Fig. 3.2 Partes de un panel fotovoltaico [8]	8
Fig. 3.3 Etapas de fabricación de una célula solar [16]	9
Fig. 3.4 Célula solar a circuito abierto [elaboración propia]	13
Fig. 3.5 Célula solar con carga [elaboración propia]	13
Fig. 3.6 Circuito eléctrico equivalente simple de una célula solar [elaboración propia]	13
Fig. 3.7 Circuito eléctrico equivalente completo de una célula solar [elaboración propia]	14
Fig. 3.8 Curvas características de un panel fotovoltaico [Elaboración propia]	14
Fig. 3.9 La curva I-V en función de la temperatura [Elaboración propia]	15
Fig. 3.10 Curva P-V en función de la temperatura [Elaboración propia]	16
Fig. 3.11 Circuito eléctrico equivalente completo de una célula solar	17
Fig. 3.12 Curva I-V en función de la irradiancia [Elaboración propia]	18
Fig. 3.13. Modelos utilizados para la obtención la curva I-V	18
Fig. 3.14 Regulador de carga PWM	22
Fig. 3.15 Regulador de carga MPPT	22
Fig. 4.1 Esquema de conexión para la obtención de la curva I-V [elaboración propia].	35
Fig. 4.2 Curvas características del panel FV en septiembre a las 10:00 h	37
Fig. 4.3 Curvas características del panel FV en septiembre a las 10:00 h (sin oscilaciones)	37
Fig. 4.4 Curvas características del panel FV en septiembre a las 14:00 h	38
Fig. 4.5 Curvas características del panel FV en septiembre a las 16:20 h	39
Fig. 4.6 Curvas características del panel FV en septiembre a las 19:00 h	39
Fig. 4.7 Curvas características del panel FV en septiembre a las 10:00 h	40
Fig. 4.8 Curvas características del panel FV en septiembre a las 14:00 h	41
Fig. 4.9 Curvas características del panel FV en septiembre a las 16:13 h	41
Fig. 4.10 Curvas características del panel FV en septiembre a las 19:00 h	42
Fig. 4.11 Curvas características del panel FV en enero a las 10:00 h	43
Fig. 4.12 Curvas características del panel FV en enero a las 14:00 h	44
Fig. 4.13 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 16:20 h	44
Fig. 4.14 Curvas características del panel FV en enero a las 10:00 h	45
Fig. 4.15 Curvas características del panel FV en enero a las 14:00 h	46
Fig. 4.16 Curvas características del panel FV en enero a las 16:15 h	46
Fig. 4.17 Esquema de medición de tensión y corriente	47
Fig. 4.18 Representación de la tensión frente al tiempo	48
Fig. 4.19 Representación de la corriente frente al tiempo	49
Fig. 4.20 representación de la potencia frente al tiempo	49
Fig. 4.21 Representación de la tensión frente al porcentaje de carga de la batería	49
Fig. 4.22 Representación de la corriente frente al porcentaje de carga de la batería	50
Fig. 4.23 Representación de la potencia frente al porcentaje de carga de la batería	50
Fig. 4.24 Representación de la tensión frente al tiempo	51
Fig. 4.25 Representación de la corriente frente al tiempo	52

Fig. 4.26 Representación de la potencia frente al tiempo.....	52
Fig. 4.27 Representación de la tensión frente al porcentaje de la carga.....	52
Fig. 4.28 Representación de la corriente frente al porcentaje de la carga	53
Fig. 4.29 Representación de la potencia frente al porcentaje de la carga	53
Fig. 4.30 Curvas I-V del Cargador RavPoweer en septiembre	54
Fig. 4.31 Curvas I-V del cargador Flexcell Sunpack en septiembre	54
Fig. 4.32 Curvas P-V del cargador RavPower en septiembre	54
Fig. 4.33 Curvas P-V del cargador Flexcell Sunpck en septiembre	55
Fig. 4.34 Curvas I-V del cargador RavPower en enero.....	55
Fig. 4.35 Curvas I-V del cargador Flexcell Sunpck en enero.....	56
Fig. 4.36 Curvas P-V del cargador RavPower en enero.....	56
Fig. 4.37 Curvas P-V del cargador Flexcell Sunpack en enero	56
Fig. 4.38 Tensión y corriente frente al porcentaje de carga de batería en septiembre ...	57
Fig. 4.39 Tensión y corriente frente al porcentaje de carga de batería en enero	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3.1 Cargador solar con batería [4]	7
Ilustración 3.2 Cargador solar sin batería [6].	8
Ilustración 3.3 Detalle de la célula solar [16]	10
Ilustración 3.4 Panel solar monocristalino [9].	10
Ilustración 3.5 Panel solar policristalino [11].	11
Ilustración 3.6 Panel solar amorfo del fabricante KANEKA [imagen de la página web del fabricante].	11
Ilustración 3.7 Tinta de Silicio [13].	12
Ilustración 3.8 Panel solar flexible de la marca Taipo [imagen de la página web del fabricante].	12
Ilustración 3.9 Flor de escritorio del fabricante XINDAO [imagen de la página web del fabricante].	31
Ilustración 3.10 Bonsái solar. [18].	31
Ilustración 3.11 Port solar charger del fabricante XINDAO [imagen de la página web del fabricante].	31
Ilustración 4.1 Salidas USB del cargador solar RavPwer	33
Ilustración 4.2 Panel fotovoltaico del cargador solar RavPower	33
Ilustración 4.3 Cargador solar Flexcell Sunpack	33
Ilustración 4.4 Parte trasera de la caja de adquisición de datos	34
Ilustración 4.5 Parte frontal de la caja de adquisición de datos	34
Ilustración 4.6 Polímetro	34
Ilustración 4.7 Medidor de irradiancia solar	35
Ilustración 4.8 Página principal del software de la caja de adquisición de datos	36
Ilustración 4.9 Página del software de la caja después de obtener la medición	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características de las baterías de los móviles	3
Tabla 3.1 Características de los cargadores solares sin batería	23
Tabla 3.2 Características de los cargadores solares sin batería	24
Tabla 3.3 Características de los cargadores solares sin batería	24
Tabla 3.4 Características de los cargadores solares sin batería	25
Tabla 3.5 Características de los cargadores solares sin batería	25
Tabla 3.6 Características de los cargadores solares sin batería	26
Tabla 3.7 Características de los cargadores solares con batería	27
Tabla 3.8 Características de los cargadores solares con batería	27
Tabla 3.9 Características de los cargadores solares con batería	28
Tabla 3.10 Características de los cargadores solares con batería	28
Tabla 3.11 Características de los cargadores solares con batería	29
Tabla 3.12 Características de los cargadores solares con batería	30
Tabla 3.13 Características de los cargadores solares con batería	30
Tabla 4.1 Cargadores solares de prueba	33
Tabla 4.2 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 10:00 h	37
Tabla 4.3 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 10:00 h	38
Tabla 4.4 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 14:00 h	38
Tabla 4.5 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 14:00 h	38
Tabla 4.6 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 16:20 h	38
Tabla 4.7 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 16:20 h	39
Tabla 4.8 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 19:00 h	39
Tabla 4.9 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 19:00 h	40
Tabla 4.10 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 10:00 h	40
Tabla 4.11 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 10:00 h	40
Tabla 4.12 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 14:00 h	40
Tabla 4.13 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 14:00 h	41
Tabla 4.14 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 16:13	41
Tabla 4.15 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 16:13 h	42
Tabla 4.16 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 19:00 h	42
Tabla 4.17 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 19:00 h	42
Tabla 4.18 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 10:00 h	43
Tabla 4.19 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 10:00 h	43
Tabla 4.20 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 14:00 h	43
Tabla 4.21 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 14:00 h	44
Tabla 4.22 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 16:20 h	44
Tabla 4.23 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 16:00 h	44
Tabla 4.24 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 10:00 h	45
Tabla 4.25 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 10:00 h	45
Tabla 4.26 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 14:00 h	45
Tabla 4.27 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 14:00 h	46
Tabla 4.28 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 16:15 h	46
Tabla 4.29 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 16:15 h	47
Tabla 4.30 Datos del ambiente al principio de la medición en septiembre	47
Tabla 4.31 Mediciones de tensión y corriente en septiembre	48

Tabla 4.32 Datos del ambiente al principio de la medición en enero.....	50
Tabla 4.33 Medición de tensión y corriente en enero.....	51
Tabla 4.34 Puntos característicos de la curva I-V en las condiciones estándar.....	58
Tabla 4.35 Mes de enero a las 10:00 h	59
Tabla 4.36 Mes de enero a las 16:15 h	59
Tabla 4.37 Mes de septiembre a las 10:00 h.....	59
Tabla 4.38 Mes de septiembre a las 14:00 h.....	59
Tabla 4.39 Mes de septiembre a las 16:13 h.....	59
Tabla 4.40 Mes de septiembre a las 19:00 h.....	59

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

La necesidad de este estudio nace de la importancia de los dispositivos móviles y los aparatos electrónicos en nuestra vida diaria, ya que no hay restricción de edad, lo pueden usar tanto los niños como los ancianos, tampoco podemos pasar el día sin leer un capítulo en un Tablet, usar las redes sociales, hacer fotos, actualizar los correos...etc.

La gran utilización de estos aparatos necesita una energía eléctrica, que la podemos obtener a partir de sus baterías, y que para cargarlas hay que disponer de un enchufe de 220Vac conectado a la red eléctrica ya que es la forma más sencilla y la más utilizada hoy en día, el problema es que no podemos disponer de enchufes en cualquier sitio, sobre todo cuando estamos de viaje y no tenemos tiempo para estar pegados a un enchufe esperando a que se cargue nuestro móvil.

Una de las soluciones a este problema que más se ha usado últimamente, es la utilización de baterías externas. Esta tecnología es bastante útil, ya que dichas baterías tienen un tamaño pequeño y que se pueden llevar en un bolsillo si hace falta, además de su precio que es bastante barato y que no supera los 20 €.

Nuestra idea es usar una energía limpia y portable para cargar nuestros dispositivos en cualquier lugar del mundo, sin necesidad de enchufes y sin estar esperando varias horas para cargar un aparato.

Las células solares fotovoltaicas pueden ser la solución ideal a nuestro problema, ya que no son muy caras, podemos llevarlas a cualquier sitio con facilidad, además de que el sol es un recurso inagotable y que está disponible en cualquier sitio del mundo, por eso surgió la idea de hacer un estudio energético de los cargadores solares.

1.2. OBJETIVO DEL TRABAJO FIN DE GRADO

El objetivo general de este trabajo es la realización de un estudio energético global sobre los cargadores solares para los teléfonos móviles, que hoy en día, además se usan para cargar otros aparatos electrónicos como los Tablet u altavoces portátiles.

Se ha elegido como sistema de aporte de energía, la solar fotovoltaica, una tecnología útil y que respeta el medio ambiente (ya que es un tema muy importante en nuestro día a día, teniendo en cuenta el nivel de contaminación que se está alcanzando) [1]. Pero pese a lo útil que previsiblemente podría ser el uso de la energía solar fotovoltaica en la carga de dispositivos portátiles, se ha detectado una importante falta de información técnica entre los cargadores solares analizados.

El estudio energético sobre los cargadores solares realizado consiste básicamente en obtener las características técnicas del equipo. Éstas nos ayudarán a entender su funcionamiento real y determinar lo útil que pueden ser para nuestra vida cotidiana. También nos lleva a entender la tecnología que se usa para obtener la energía eléctrica de una forma limpia y respetuosa con el medio ambiente, dándonos una idea de cómo puede

ser un futuro con energías renovables no solo para la producción a gran escala sino también para nuestros pequeños gastos energéticos diarios.

Lo primero que se pretende es recopilar los datos técnicos de las baterías de los móviles que existen en el mercado para saber la potencia que deben tener los cargadores solares. Para ello se han obtenido las características de las baterías de móviles que más se usan actualmente, así como de algunos datos de los móviles antiguos, haciendo una comparación general para determinar la evolución que han tenido respecto al consumo energético.

Se ha decidido comprar un cargador solar del mercado para poder hacer ensayos y medidas, obteniendo así sus características técnicas que podamos analizar y sacar conclusiones sobre el funcionamiento real del cargador, además de compararlas con otros ensayos y medidas que se van a hacer sobre otro cargador solar ofrecido por el departamento de ingeniería eléctrica, que tiene diferentes características consiguiendo así una amplia información que nos ayuda a obtener conclusiones más exactas.

Los ensayos y las medidas realizadas consisten en determinar la potencia real que ofrece cada cargador, el tiempo que tarda en cargar la batería tipo del móvil elegido, obtener la importante curva I-V del generador fotovoltaico del cargador y determinar el punto de máxima potencia. A partir de las medidas podemos obtener conclusiones sobre un cargador solar disponible en el mercado y determinar su aptitud para satisfacer nuestras necesidades diarias.

Por último, y con el objetivo de evaluar la potencia generada por el cargador en condiciones diferentes a las medidas en los ensayos, se ha desarrollado un modelo del cargador con el método de estimación de los parámetros de un panel solar fotovoltaico. Así, se obtienen los puntos más significativos de la curva característica del panel fotovoltaico con el objetivo de poder extrapolarlos a diferentes condiciones de irradiancia y temperatura. Se hizo una comparación final entre los resultados obtenidos experimentalmente y los resultados conseguidos utilizando dicho método, determinando así su utilidad sobre los cargadores solares fotovoltaicos.

1.3. LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL MEDIO AMBIENTE

Actualmente la energía eléctrica es una necesidad de la cual no podemos prescindir y que va en aumento, por lo tanto, hay que conseguir generarla de una forma sostenible respetuosa con el medio ambiente. En los últimos 20 años la energía consumida se ha duplicado debido a la evolución de los países en desarrollo. Los estudios realizados nos indican que esta necesidad de energía eléctrica continuará aumentando a un ritmo similar [2].

La contaminación es un problema que surge a la hora de generar la energía eléctrica usando tecnologías no renovables, que producen gases que favorecen el efecto invernadero, aumentando la temperatura de nuestro planeta de una forma excesiva. A partir de ahí surgió la solución de usar energías renovables que no producen ningún tipo de gases a la hora de producir la energía eléctrica, ya que no necesitan ningún proceso de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂.

2. LAS BATERÍAS DE LOS TELÉFONOS MÓVILES

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS

La batería es el primer elemento que hay que estudiar para saber el tipo de cargador que necesitamos, ya que nos da una primera idea de que tamaño puede ser el equipo que nos va a ofrecer la energía eléctrica. Por lo tanto, se hizo una recopilación de las baterías que tenemos en los teléfonos móviles más usados. En la tabla siguiente se ofrecen los datos técnicos de cada batería y que son la tensión, la capacidad y la posibilidad de acceso a las baterías de manera fácil, los datos que aparecen en la tabla han sido sacados de las pegatinas que lleva cada batería.

Modelo	Tensión (V)	Capacidad (mAh)	Accesibilidad
iPhone 4	3,70	1420	No
iPhone 5	3,80	1440	No
iPhone 5S	3,80	1560	No
iPhone 6	3,82	1810	No
iPhone 6 plus	3,82	2915	No
iPhone 6S	3,80	1715	No
iPhone 6S plus	3,80	2750	No
iPhone 7	3,82	1960	No
iPhone 7 plus	3,82	2900	No
iPhone 8	3,80	1821	No
iPhone 8 Plus	3,80	2675	No
iPhone X	3,80	2716	No
Huawei P9 lite	3,82	2900	No
Huawei P8 lite	3,80	2200	No
Huawei P10 lite	3,80	3000	No
Samsung Galaxy S7	4,40	3000	No
Samsung Galaxy S6	4,40	2550	No
Samsung Galaxy S5	3,85	2800	Si
Samsung Galaxy S4	3,80	2600	Si
Samsung Galaxy S3	3,80	2100	Si
Xiaomi Mi5	4,40	3000	No
Xiaomi Mi6	4,40	3350	No
Huawei P10	3,82	3200	No
LG G6	3,80	3300	No
Nokia N97 mini / N8 /N96/N95	3,70	1200	Si
Nokia 3110/6030/6230/6230....	3,70	1020	Si
Samsung Gt	3,70	850	Si
Nokia 3310/3510/3510i/6650...	3,70	750	Si
BlackBerry curve 8520	3,70	1150	si

Tabla 2.1 Características de las baterías de los móviles

EL dato más importante de la batería es su capacidad que se mide en mAh, y nos indica la capacidad de descargarse a una velocidad máxima en una hora, haciendo una recopilación de las baterías de los móviles más usados en el mercado, nos encontramos con un máximo de 3350 mAh de capacidad y una tensión de 4,40 V. También podemos observar que los dispositivos más recientes no tienen un acceso fácil a sus baterías (no se pueden extraer del interior de la carcasa).

Los móviles antiguos disponían de baterías de níquel o cadmio que se han eliminado del mercado y se impusieron las actuales baterías de litio, que son las más usadas, por ser ligeras y tener más autonomía en menos espacio,

La capacidad de la batería ha ido aumentando con los años, ya que los últimos Smartphones ofrecen más servicios que los móviles antiguos, debido a los numerosos servicios que ofrece y por lo tanto demandan más energía. Eso hace más difícil encontrar un panel fotovoltaico con dimensiones razonables para poder transportarlo y que ofrezca la energía necesaria en un tiempo corto.

2.2. FASES DE CARGA DE LAS BATERÍAS

En las baterías recargables como el caso de los teléfonos móviles, se encuentran unas celdas que se encargan de transformar la energía química en eléctrica de forma reversible, mediante un proceso que se denomina REDOX (reducción y oxidación) en el que uno de los materiales que compone la celda se oxida y el otro se reduce.

La carga de una batería se divide en tres fases fundamentales, primero se carga a corriente constante. Esta fase se denomina la etapa Bulk, que sirve para dar el primer impulso de carga a la batería usando la máxima potencia posible hasta llegar a un porcentaje de 80%-90% de carga máxima, después se pasa a la fase de tensión constante, que es la etapa de absorción donde la corriente va disminuyendo hasta completar la carga de la batería y finalmente se mantiene la tensión en la etapa de flotación, estas tres fases se ven claramente en la siguiente figura (Fig. 2.1).

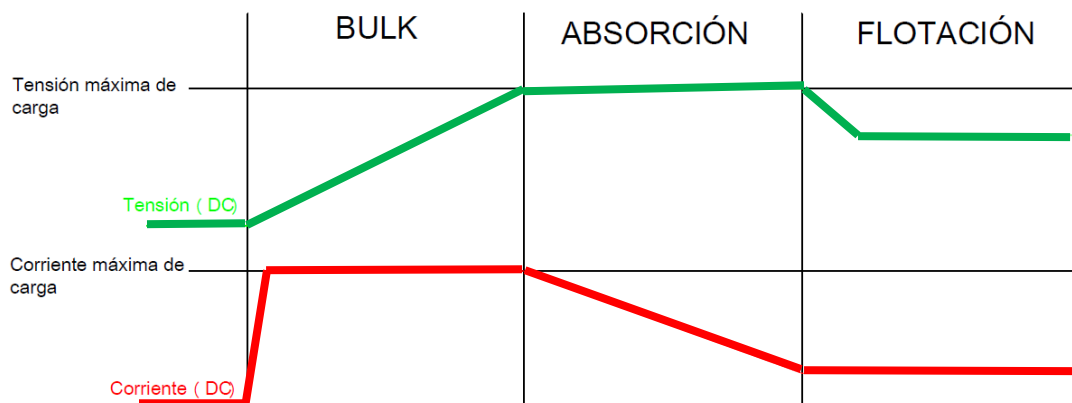


Fig. 2.1 Fases de carga de una batería [Elaboración propia]

La carga de batería de los teléfonos móviles se hace a través de un cargador, que ofrece una tensión fija de 5V, y una corriente eléctrica que varía entre 1A y 2,4 A, esto quiere

decir que a más corriente el dispositivo se carga más rápido, pero al final el dispositivo móvil es el que va a determinar la corriente de carga.

2.3. CARGADOR DE BATERIA

2.3.1. Cargador común (AC-DC)

Es el cargador más utilizado, ya que transforma los 230 V en alterna (AC) que nos llegan de la red eléctrica y que los podemos encontrar en un enchufe, en los 5 V en continua (DC), que son los necesarios para cargar baterías de un dispositivo electrónico, que puede ser un Smartphone, Tablet, altavoz...etc.

El cargador AC-DC tiene varias etapas de potencia, según la (Fig. 2.2), primero se disminuye la tensión a través de un transformador que convierte los 220VAC a 9VAC, después por un rectificador de onda completa, y posteriormente por diversos condensadores que actuarán como filtro de componentes de frecuencia y adecuarán la señal para que sea DC, consiguiendo así los 5 V de salida que nos permite cargar los dispositivos a través de un conector USB, que es el más utilizado últimamente en los cargadores de móviles[3].

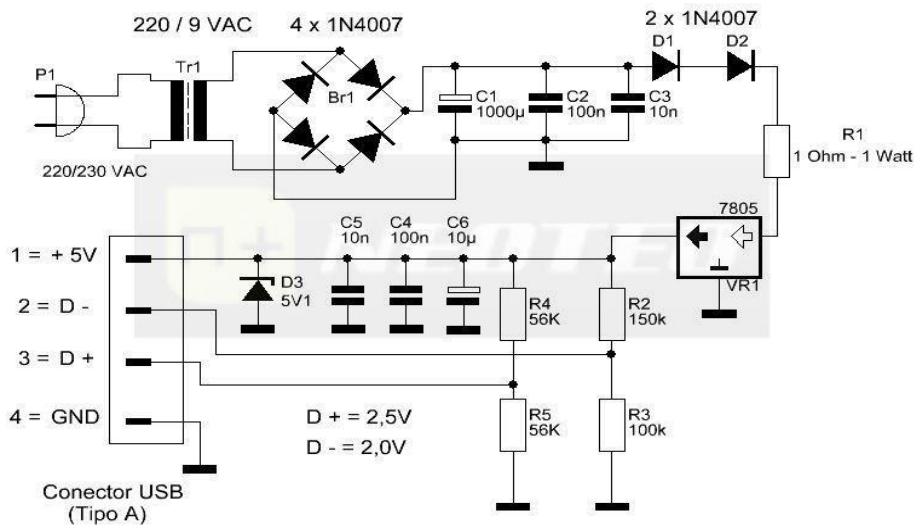


Fig. 2.2 Esquema eléctrico de un cargador AC/DC [21]

2.3.2. Cargador DC-DC

Es el que se utiliza en los coches cuyos baterías ofrecen una tensión de 12 V, que es superior a la necesaria para recargar un dispositivo, por tanto, se usa este cargador para bajar el nivel de la tensión al valor deseado.

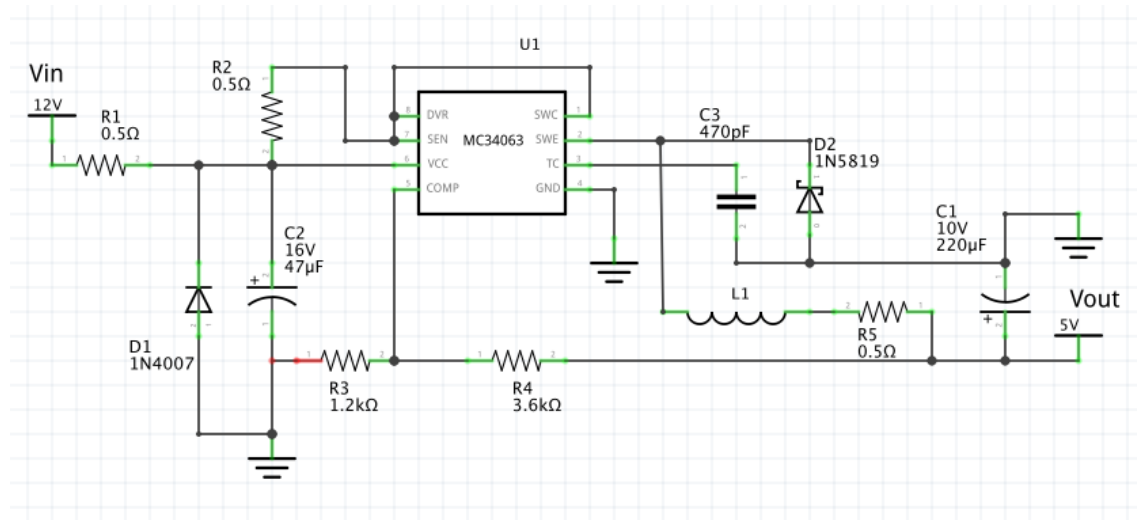


Fig. 2.3 Esquema eléctrico de un cargador DC/DC [3].

El componente principal del circuito de la (Fig. 2.3) es el MC34063 y los componentes que lo acompañan son los necesarios para que el regulador baje la tensión a un valor de 5V.

Las resistencias R3 y R4 son las encargadas de fijar la tensión de salida, ya que al modificar el valor de estas dos resistencias podemos obtener una tensión u otra.

$$V_{out} = 1,25 \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \quad (2.1)$$

El esquema anterior ofrece la posibilidad de convertir 12V de corriente continua obtenida de una batería a 5VDC [3].

3. LOS CARGADORES SOLARES FOTOVOLTAICOS

3.1. TIPOS DE CARGADORES SOLARES

Como se ha comentado anteriormente el cargador solar es la solución propuesta para la satisfacción de la energía eléctrica necesaria para los móviles, por tanto, hay que determinar los tipos de cargadores solares que existen en el mercado, y encontrar la diferencia entre ellos.

Podemos dividir los cargadores fotovoltaicos en dos bloques fundamentales. El primero es el cargador que almacena la energía eléctrica producida por el panel fotovoltaico en una batería externa que luego la suministra a nuestro dispositivo móvil cuando se necesita, este cargador no es muy deseado, ya que al usar baterías no estaríamos cumpliendo con la idea de proteger el medioambiente, teniendo en cuenta que esas baterías tienen una vida útil, por lo tanto, esto supone una contaminación extra. El segundo bloque es el cargador que suministra la energía eléctrica directamente de los paneles fotovoltaicos, sin poner en medio baterías externas, evidentemente este método exige unos componentes específicos para dar una señal eléctrica adecuada y aceptada por las baterías de los móviles.

En realidad, los aparatos del primer bloque son de tamaño bastante menor que los del segundo, pero como se ha indicado anteriormente tienen la inconveniente de usar baterías que contaminan cuando acabe su vida útil, y que en realidad son parecidos a la tecnología de la batería externa, solo que, en vez de cargarla directamente de la red eléctrica en nuestra casa, pues se carga de una manera más limpia usando la energía fotovoltaica. Por eso he preferido centrar mis estudios en los cargadores del segundo bloque por ser una tecnología 100% limpia, sin necesidad de baterías.

3.1.1. Cargador solar con batería externa

Los cargadores solares que están en el mercado incluyen una batería donde almacenan la energía recogida por los paneles solares.



Ilustración 3.1 Cargador solar con batería [4]

En realidad, esta tecnología es muy útil, ya que el tamaño del equipo es muy cómodo de llevar y puede ofrecer una energía eléctrica bastante mayor cuando este cargado al 100%, sin embargo es poco eficiente ecológicamente, ya que las baterías hay que sustituirla cada dos años aproximadamente, con la consiguiente contaminación que esto

produce, y que contrarresta a la idea principal del uso de un panel fotovoltaico, que es la utilización de energía limpia sin ningún efecto negativo sobre el medioambiente [5].

3.1.2. Cargadores solares sin batería externa

Este tipo de equipos aprovechan la energía eléctrica que se produce mediante los paneles fotovoltaicos y la entregan directamente al dispositivo móvil después de regular la señal para que sea aceptada por las baterías. La dificultad que podemos encontrar en este caso es encontrar un panel fotovoltaico con dimensiones razonables para poder generar la energía necesaria a tiempo real.



Ilustración 3.2 Cargador solar sin batería [6].

Este cargador está compuesto por paneles fotovoltaicos y un cargador DC-DC que regula la tensión y la señal eléctrica para poder entregarla a la batería de una manera adecuada.

3.2. PANELES FOTOVOLTAICOS

3.2.1. Generación de electricidad en los módulos fotovoltaicos

Cuando la luz del sol incide sobre ciertos materiales semiconductores, los fotones que la constituyen son capaces de transmitir su energía a los electrones de valencia del semiconductor para que rompan el enlace que les mantiene ligados a los átomos respectivos. Por cada enlace roto queda un electrón libre para circular dentro del sólido.

La falta de electrón en el enlace roto, que se llama hueco, también puede desplazarse libremente por el interior del sólido, transfiriéndose de un átomo a otro debido al desplazamiento del resto de los electrones de los enlaces.

El movimiento de los electrones y huecos en direcciones opuestas generan una corriente eléctrica en el semiconductor capaz de circular por el circuito externo.

Las grandes diferencias de concentraciones de electrones y huecos entre ambas regiones crean un campo eléctrico dirigido de la región (n) a la región (p), que es el responsable de separar los electrones y huecos extras que se producen cuando la célula está iluminada.

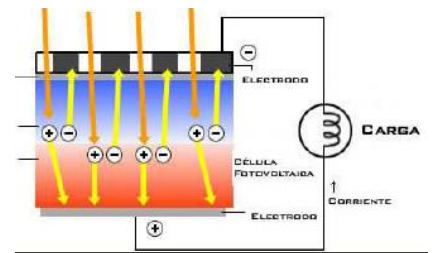


Fig. 3.1 Célula solar expuesta al sol [7]

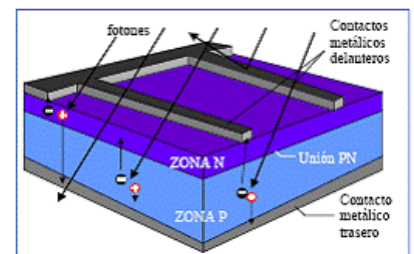


Fig. 3.2 Partes de un panel fotovoltaico [8].

3.2.2. proceso de fabricación de células solares

El proceso de fabricación de una célula fotovoltaica se divide en cuatro fases fundamentales:

- La primera fase consiste en la obtención del silicio a partir de las rocas ricas en cuarzo, y mediante el proceso de reducción con carbono se consigue un silicio con pureza de hasta 99%, que no resulta suficiente para usos electrónicos. La industria de semiconductores purifica este silicio por procedimientos químicos hasta que la concentración de impurezas sea inferior al 0,2 parte por millón.
- La segunda fase se denomina cristalización, que una vez fundido el silicio se inicia esta fase a partir de una semilla extraída del silicio fundido, donde el método más utilizado en la actualidad es el método Czochralsky. El silicio cristalino obtenido tiene forma de lingotes. Al final se obtiene dos tipos de estructuras que se denominan la monocristalina y la policristalina que se diferencian en el grado de pureza de silicio durante el crecimiento/recristalización.
- La tercera fase se encarga de la obtención de obleas, donde el proceso de corte tiene una gran importancia en la producción de las láminas obleas a partir del lingote, ya que supone una pérdida de material de hasta 50% que finalmente el espesor de las obleas resultantes suele ser de 2-4 mm.
- Finalmente se pasa al proceso de mejorar las superficies que presentan irregularidades y defectos debidos al corte, además de retirar de las mismas los restos de polvo o virutas que pueden llevar mediante el proceso de decapado. Con la oblea limpia se procede al texturizado de la misma (solo para las células monocristalinas), aprovechando las propiedades cristalinas del silicio para obtener superficie que absorba la radiación solar incidente. Posteriormente se procede a la formación de la unión PN mediante deposición de distintos materiales (compuestos de fósforo para las partes N y de boro para las partes P), y su integración en la estructura del silicio cristalino. El siguiente paso es la formación de los contactos metálicos de la célula, en forma de rejilla en la cara iluminada por el sol, y continuo en la cara posterior. Por último, se añade una capa antirreflexiva sobre la célula para mejorar la absorción de la radiación solar [16].

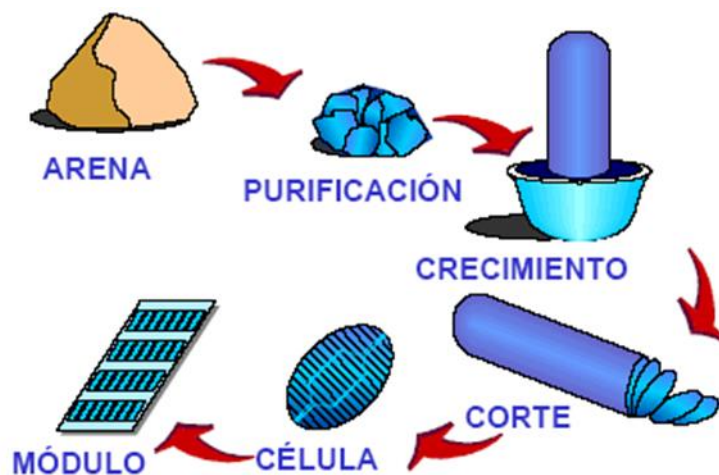


Fig. 3.3 Etapas de fabricación de una célula solar [16]



Ilustración 3.3 Detalle de la célula solar [16]

3.2.3. Tipos de módulos

3.2.3.1. Paneles solares monocristalinos

Las celdas monocristalinas son fáciles de reconocer por su coloración y aspecto uniforme, ya que se construyen con bloques de silicio puro fundido y dopado con boro, por tanto, tienen un rendimiento alto, que llega hasta el 24% en laboratorios y entre 15-18% de rendimiento directo. Tienen una vida útil larga, ya que algunos fabricantes ofrecen garantías de hasta 25 años. El precio de estos paneles es bastante alto debido a la pureza de silicio que se utiliza para su fabricación [10].



Ilustración 3.4 Panel solar monocristalino [9].

3.2.3.2. Paneles solares policristalinos

Estas células se caracterizan por estar fabricadas con un silicio menos puro, reduciendo así los costes respecto a las células monocristalinas, por lo tanto, conduce a un rendimiento más bajo, aun así, los fabricantes aseguran que el menor coste compensa las pérdidas de rendimiento. A nivel de la superficie de la célula, la policristalina tienen zonas de diferentes colores en vez de color uniforme. El rendimiento de este tipo de células llega a un 18 % en laboratorio y entre un 10 y un 12% en producción.



Ilustración 3.5 Panel solar policristalino [11].

3.2.3.3. Paneles solares de silicio amorfos

El funcionamiento de la célula solar de un panel de silicio amorfo es el mismo que las cristalinas pero su elaboración es diferente donde:

- El proceso de fabricación es sencillo y de fácil automatización.
- Necesidad de poco material activo y reducción del gasto energético y del coste
- Facilidad para realizar módulos flexibles

La tecnología del silicio amorfo tiene una eficiencia considerablemente menor que las basadas en silicio cristalino, debida a la mala calidad del silicio utilizado. Respecto al aspecto de los paneles, las placas solares de silicio amorfo no se consisten en la unión de células individuales, sino una lámina cortada a medida, por lo tanto, se diferencian claramente frente al resto de los paneles [17].



Ilustración 3.6 Panel solar amorfo del fabricante KANEKA [imagen de la página web del fabricante].

3.2.3.4. Paneles de tinta de silicio

La tinta básicamente consiste en un líquido con partículas de silicio suspendidas que una vez impresas se decanta el líquido y queda una estructura cristalina de silicio formando una celda solar con rendimiento bastante alto, y unos costes bajos respecto a las tecnologías convencionales [12].

La tinta fotovoltaica empezó fundamentalmente como un medio para aumentar la efectividad de los paneles, ya que el tema de los rendimientos en los paneles fotovoltaicos es crucial y muy discutido, este método puede aumentar el rendimiento en un 8% y que es un porcentaje muy bueno.



Ilustración 3.7 Tinta de Silicio [13].

3.2.3.5. Paneles flexibles

Los paneles flexibles se forman mediante células de silicio monocristalino, no disponen de marcos ni de cristales de seguridad, y las células se fijan en una estructura de plástico y con una capa de protección encima, lo que lleva a una reducción de peso considerable, gracias a ello su transporte es mucho fácil y cómodo.

La principal ventaja es que se adaptan a las superficies curvadas, donde sería difícil la instalación de un panel con marco, también se adaptan a todo tipo de superficies sin que se aprecie su colocación por ser muy finos, otra ventaja que tienen es que son fáciles de instalar ya que no necesitan ninguna estructura, tampoco hace falta hacer agujeros porque se pueden fijar con solo un adhesivo debido a su bajo peso. Al tener un peso bajo, pues se pueden llevar a cualquier lugar que sea necesario, por tanto, es la primera idea que nos ha ocurrido para nuestro proyecto [14].

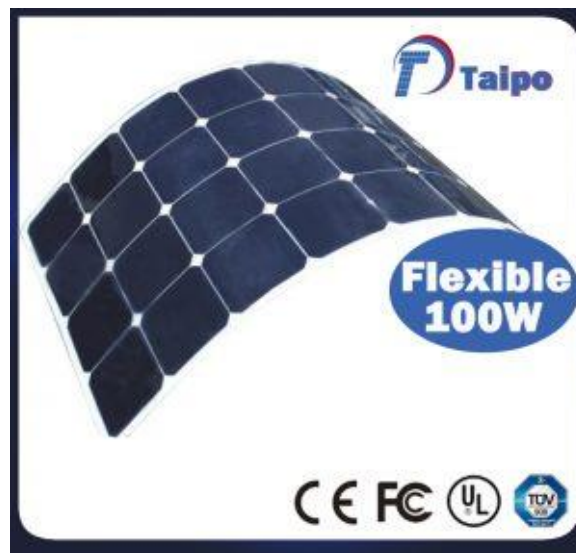


Ilustración 3.8 Panel solar flexible de la marca Taipo [imagen de la página web del fabricante]

3.2.3.6. Características eléctricas

El circuito abierto corresponde al caso de no tener ninguna carga conectada en los terminales del panel fotovoltaico, por lo tanto, estaríamos en el caso de que $G=0 \rightarrow V=0$

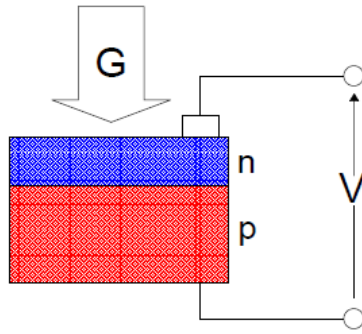


Fig. 3.4 Célula solar a circuito abierto [elaboración propia]

Al tener una carga en los terminales de la célula fotovoltaica la corriente se calcula aplicando la simple ley de ohm $I = \frac{V}{R}$

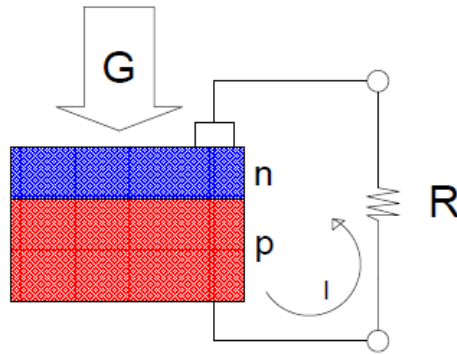


Fig. 3.5 Célula solar con carga [elaboración propia]

El circuito eléctrico equivalente a la célula solar está construido por un diodo de unión p-n ideal y un generador de corriente, también podemos añadir dos resistencias, una en paralelo R_p que representa las fugas de corrientes por la superficie de los bordes de la célula por los pequeños cortocircuitos metálicos, y una resistencia en serie R_s que se debe a la resistencia de los contactos metálicos con el semiconductor y a la propia resistencia de la malla de metalización.

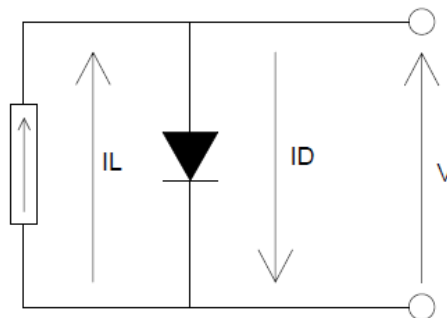


Fig. 3.6 Circuito eléctrico equivalente simple de una célula solar [elaboración propia]

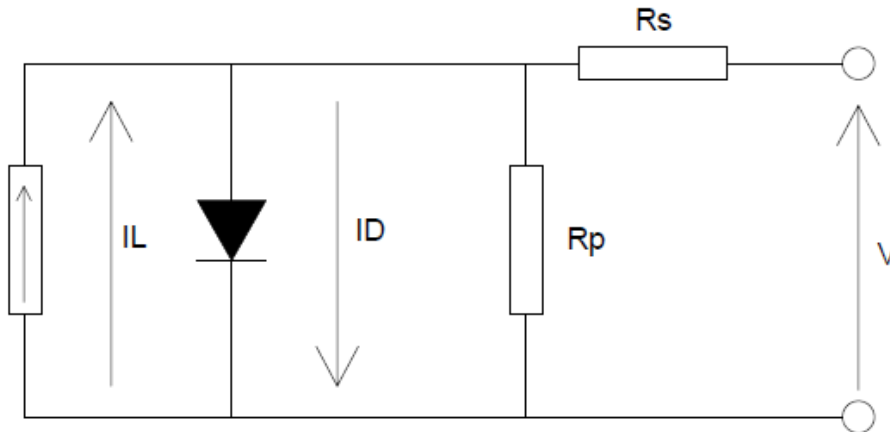


Fig. 3.7 Circuito eléctrico equivalente completo de una célula solar [elaboración propia]

3.2.3.7. La curva característica I-V

La curva característica representa las posibles combinaciones de corriente y voltaje para un panel fotovoltaico bajo unos determinados valores de irradiación solar incidente y la temperatura ambiente.

Parámetros de la curva I-V

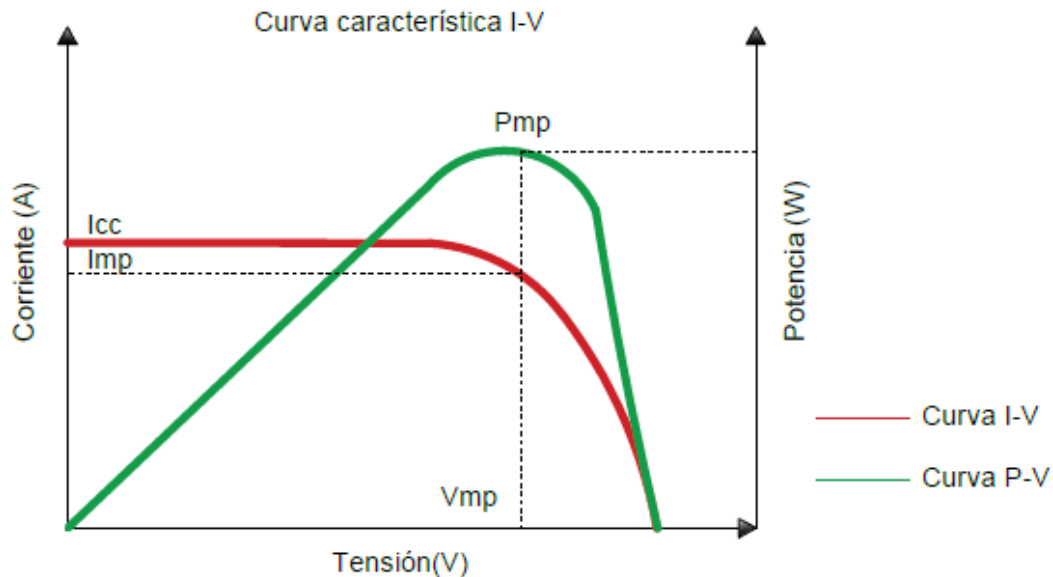


Fig. 3.8 Curvas características de un panel fotovoltaico [Elaboración propia]

- Corriente de cortocircuito (I_{cc}): Es la máxima corriente que genera el panel cuando no está conectada ninguna carga y se cortocircuitan sus bornas.
- Tensión de circuito abierto (V_{ca}): Es la máxima tensión que ofrece el panel, cuando no está conectada ninguna carga.
- Punto de máxima potencia (P_{max}): Es el punto para el cual la potencia entregada es máxima, consiguiendo el rendimiento máximo del panel fotovoltaico.

- Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}): Es el valor de la corriente para el punto de máxima potencia.
- Tensión en el punto de máxima potencia (V_{mp}): Es el valor de la tensión para el punto de máxima potencia.
- Factor de forma (FF): Es la relación entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto ($I_{cc} \times V_{ca}$).
- Eficiencia o rendimiento (%): Es el cociente entre máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar y la potencia de la radiación solar incidente.

Efectos de temperatura e irradiancia

La curva característica I-V sufre modificaciones para distintos valores de temperatura e irradiancia solar, ya que, para valores altos de temperatura, la potencia entregada por el panel fotovoltaico baja de una forma considerable, sin embargo, como es normal para una irradiancia solar alta la potencia aumenta y por lo tanto la curva I-V también. Estos cambios se pueden ver perfectamente en la siguiente graficas que demuestran el efecto de temperatura e irradiancia sobre un mismo panel fotovoltaico cambiando solo la temperatura ambiente o la irradiancia solar incidente sobre la célula fotovoltaica.

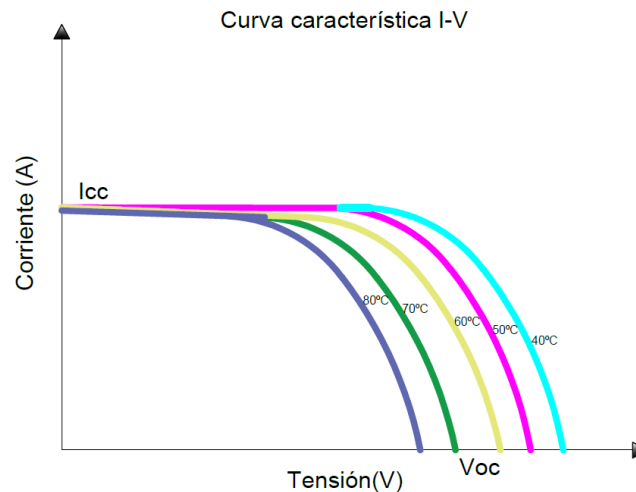


Fig. 3.9 La curva I-V en función de la temperatura [Elaboración propia]

Se observa que la curva sufre cambios especialmente en el valor de la tensión V_{oc} , sin embargo, la corriente de cortocircuito casi no cambia por lo tanto la curva se desplaza hacia la izquierda. Esta variación afecta directamente la potencia generada por el módulo (ver fig. 3.10), ya que la potencia es directamente proporcional a la tensión.

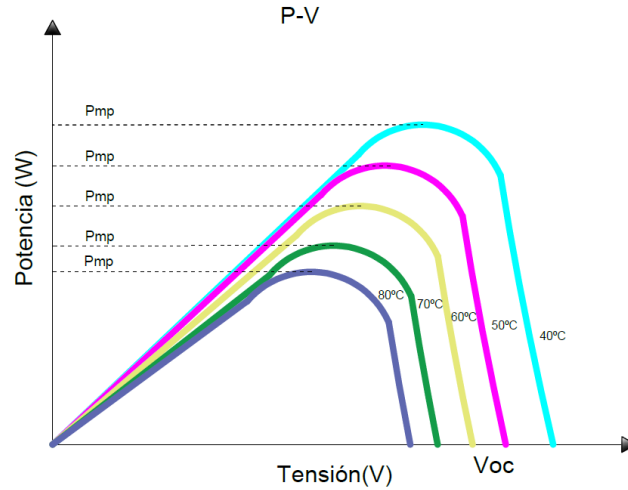


Fig. 3.10 Curva P-V en función de la temperatura [Elaboración propia]

Como se mencionó anteriormente el circuito eléctrico equivalente a la célula solar está construido por un diodo de unión p-n ideal y un generador de corriente, para ello, la curva característica I-V responde a la siguiente exponencial:

$$I \approx -I_0(T) \left(e^{\frac{eV}{mkT}} - 1 \right) \quad (3.1)$$

Siendo:

m: Factor de idealidad del diodo

k: Constante de Boltzman

T: Temperatura en grados Kelvin

e: Carga del electrón

El signo negativo se emplea como criterio para establecer la dirección que sigue la corriente desde el lado p del semiconductor al lado n. trabajando en este caso en polarización directa.

Tendería signo positivo si por el contrario los electrones se dirigiesen del lado n al lado p, trabajando por lo tanto el diodo en polarización inversa. En estas condiciones de polarización inversa, el diodo no debería conducir la corriente, sin embargo, a causa del efecto de la temperatura se formarán pares electrón-hueco a ambos lados de la unión. Que al desligarse producirán una pequeña intensidad denominada corriente inversa de saturación ($I_0(T)$) [15].

El comportamiento de una célula solar cuando funciona como generador (polarización directa), puede explicarse como la diferencia entre la corriente fotogenerada I_L debida a la generación de portadores en la iluminación y la corriente de diodo I_d que corresponde a la corriente en oscuridad por la recombinación de portadores que produce el voltaje externo [15].

$$I = I_L - I_d \quad (3.2)$$

Completando la ecuación que describe la curva I-V de la célula, tendremos en cuenta dos factores más que son la resistencia en serie R_s y la resistencia en paralelo R_p .

$$I = I_L - I_0(T) \left(e^{\frac{eV}{mkT}} - 1 \right) - \frac{V - R_s}{R_p} \quad (3.3)$$

Siendo:

I_L : Corriente fotogenerada

$I_0(T)$: Corriente inversa de saturación del diodo

R_s : Resistencia en serie

R_p : resistencia en paralelo

Por lo tanto, el circuito eléctrico correspondiente a la célula solar y definido por la ecuación es el siguiente:

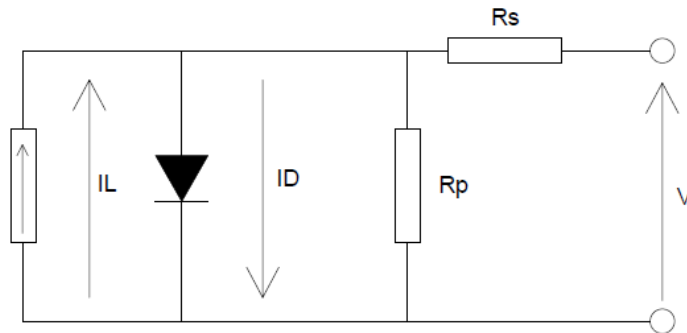


Fig. 3.11 Circuito eléctrico equivalente completo de una célula solar

La temperatura hace cambios en los valores de la tensión y corriente, pero estos cambios son más claros en la tensión, sin embargo, la corriente es casi constante.

La tensión de circuito abierto viene dada por la siguiente expresión:

$$V_{oc} = \frac{mkT}{e} \ln \left(\frac{I_L}{I_0(T)} \right) \quad (3.4)$$

La representación gráfica de la ecuación es la curva I-V de la figura (Fig. 3.9), que demuestra la disminución del valor de la tensión a circuito abierto a medida que vamos aumentando la temperatura.

Dado que la corriente casi no presenta cambios ante la temperatura, sin embargo, si que lo hace frente la irradiancia (ver Fig3.12).

$$I_{SC}(E_2) = I_{SC}(E_1) \cdot \frac{E_1}{E_2} \quad (3.5)$$

Siendo:

$I_{sc}(E)$: la corriente de cortocircuito para los distintos valores de irradiancia E_1 y E_2 respectivamente.

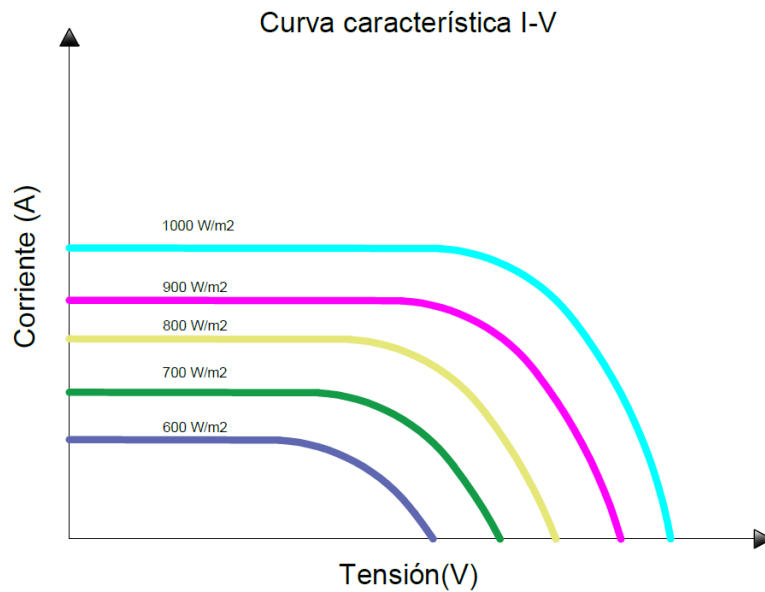


Fig. 3.12 Curva I-V en función de la irradiancia [Elaboración propia]

3.2.3.8. Método de estimación de los parámetros de un panel solar fotovoltaico.

El método de estimación de los parámetros de un panel solar fotovoltaico se basa en las ecuaciones del modelo de un diodo y de la toma de medidas de cuatro puntos de la curva I-V del panel para unas temperaturas e irradiancias determinadas [19].

La forma de obtener la curva I-V utilizando dicha herramienta se divide en dos partes fundamentales (ver fig. 3.13). La primera parte consiste en obtener los parámetros del circuito equivalente de la célula solar y la segunda parte se encarga de sacar los puntos más significativos de la curva (corriente-tensión) a partir de los parámetros obtenidos en la primera parte.

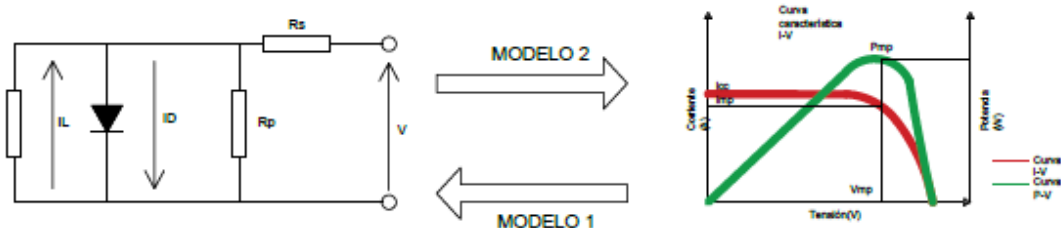


Fig. 3.13. Modelos utilizados para la obtención la curva I-V

Teniendo en cuenta que los parámetros del circuito equivalente de la célula solar o de los módulos solares que forman los cargadores solares no se ofrecen por ningún fabricante, para ello se recurre a calcularlos mediante el modelo 1 que aprovecha los datos

de una curva I-V obtenidos en las condiciones estándar de medida. Para ello se necesita como datos de partida:

- La tensión de circuito abierto Voc
- La corriente de cortocircuito Isc
- La tensión y corriente en el punto de máxima potencia (Vmp, Imp y Pmp)
- La irradiancia (G) y la temperatura del panel solar (Tcel) que se han medido durante la obtención de los datos anteriores.
- Numero de células en serie, así como el número de los paneles fotovoltaicos.
 - Parámetros del circuito equivalente

El comportamiento eléctrico de una célula solar se define en la siguiente formula:

$$I = I_L - I_0 \cdot \left[\exp \left(\frac{V+I \cdot R_s}{n \cdot V_{th}} \right) - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (3.6)$$

Donde:

I0: la corriente inversa de saturación

n: el factor de idealidad del diodo

Vth: la tensión térmica $\rightarrow V_{th} = \frac{k \cdot T}{q}$ (q= 1.6 x 10⁻¹⁹C, K=1.381 · 10⁻²³J/K)

T: la temperatura de la célula en grados kelvin

Para poder utilizar el modelo solo es necesario determinar tres parámetros (n, Rs y Rp), ya que el resto (IL e I0) se pueden expresar en función de ellos. Sin embargo, lo verdaderamente necesario es la relación entre los tres parámetros.

El método utilizado para la obtención de los tres parámetros utilizando los datos de entrada de una curva I-V obtenida en condiciones estándar de medición, suele dar los valores de los puntos significativos que dan lugar a varias curvas I-V que pasan por los mismos puntos, Por lo tanto, se limita la diferencia entre los resultados de las siguientes maneras:

- Estableciendo que los valores de Rs y Rp no puedan ser infinitos, negativos, nulos o tan bajos que sean imposibles de alcanzar en un generador real
- Mantener el factor de idealidad entre 1 y 1,3. Aunque en algunos casos puede ser inferior a 1 o superior a 2, también es necesario tener en cuenta que para el mismo dispositivo el valor de n puede variar.
 - Ecuaciones para la determinación de Rs

Derivando I con respecto a V en la ecuación (3.6) se obtiene:

$$\frac{\partial I}{\partial V} = - \left(1 + \frac{\partial I}{\partial V} \cdot R_s \right) \cdot \left[\frac{I_0}{n \cdot V_{th}} \cdot \exp \left(\frac{V+I \cdot R_s}{n \cdot V_{th}} \right) + \frac{1}{R_p} \right] \quad (3.7)$$

En el punto de máxima potencia se cumple:

$$\frac{\partial P}{\partial V} = I + V \cdot \frac{\partial I}{\partial V} = 0 ; \frac{\partial I}{\partial V} [V_{mp}] = - \frac{I_{mp}}{V_{mp}} \quad (3.8)$$

Igualando las expresiones (3.7) y (3.8):

$$I_{mp} = \frac{I_0 \cdot (V_{mp} - I_{mp} \cdot R_s)}{n \cdot V_{th}} \cdot \exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp} \cdot R_s}{n \cdot V_{th}}\right) + \frac{V_{mp} - I_{mp} \cdot R_s}{R_p} \quad (3.9)$$

reordenando:

$$I_L - \frac{2 \cdot V_{mp}}{R_p} = I_0 \cdot \frac{V_{mp} + n \cdot V_{th} - I_{mp} \cdot R_s}{n \cdot V_{th}} \cdot \exp\left(\frac{V_{mp} + I_{mp} \cdot R_s}{n \cdot V_{th}}\right) \quad (3.10)$$

Simplificando:

$$\alpha = \frac{V_{mp} + n \cdot V_{th} - I_{mp} \cdot R_s}{n \cdot V_{th}} \quad (3.12) \quad \text{y} \quad \beta = \frac{I_{sc} \cdot (R_s + R_p) - V_{oc}}{I_{sc} \cdot (R_s + R_p) - 2 \cdot V_{mp}} \quad (3.11)$$

Se obtiene:

$$\alpha \cdot \beta = \exp\left(\frac{V_{oc} - V_{mp} - I_{mp} \cdot R_s}{n \cdot V_{th}}\right) \quad (3.12)$$

Tomando logaritmos y reordenando:

$$V_{mp} = V_{oc} - I_{mp} \cdot R_s - n \cdot V_{th} \cdot \ln(\alpha \cdot \beta) \quad (3.13)$$

Despajando R_s de la ecuación (3.13) y añadiendo los números de células en serie N_{cs} para adaptarlo a un panel solar, se obtiene:

$$R_s = \frac{1}{I_{mp}} \cdot [V_{oc} - V_{mp} - n \cdot V_{th} \cdot \ln(\alpha \cdot \beta)] \cdot N_{cs} \quad (3.14)$$

La solución requiere un proceso iterativo de cálculo debido a que α y β también contienen R_s , por lo tanto, un muy valor inicial se puede obtener simplificando las variables α y β . Teniendo en cuenta que las multiplicaciones ($n \times V_{th}$) e ($I_{mp} \times R_s$) son del mismo orden de magnitud y su resta es mucho menor que el valor de la tensión del punto de máxima potencia se obtiene el valor inicial de α :

$$\alpha = \frac{V_{mp}}{n \cdot V_{th}} \quad (3.15)$$

Para β , como sus pequeñas variaciones se atenúan debido al logaritmo, merece la pena aproximarlos a 1 inicialmente. Por tanto. El valor de R_s inicialmente será:

$$R_s(0) = \frac{1}{I_{mp}} \cdot \left[V_{oc} - V_{mp} - n(0) \cdot V_{th} \cdot \ln\left(\frac{V_{mp}}{n(0) \cdot V_{th}}\right) \right] \cdot N_{cs} \quad (3.16)$$

- Ecuación para la determinación de R_p

En la ecuación (3.14) se observa que para la determinación de R_s el valor de R_p no afecta mucho, sin embargo, el valor de R_p afecta al del factor de idealidad n . Por tanto, en las condiciones de cortocircuito ($I=I_{sc}$, $V=0$) aplicadas a la ecuación 1 se obtiene:

$$I_L = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{I_{sc} \cdot R_s}{n \cdot V_{th}}\right) - 1 \right] + I_{sc} \cdot \left(\frac{R_s + R_p}{R_p}\right) \quad (3.17)$$

Teniendo en cuenta que el termino exponencial es cercano a 1 e $I_0 \ll I_L$, Se puede hacer la siguiente aproximación:

$$I_L = I_{sc} \cdot \left(\frac{R_s + R_p}{R_p}\right) \quad (3.18)$$

Particularizando para el punto de máxima potencia, se obtiene la expresión para I_0 :

$$I_0 = \left[\frac{(I_{sc}-I_{mp}) \cdot (R_s+R_p) - V_{mp}}{R_p} \right] \cdot \exp\left(-\frac{V_{mp}+I_{mp} \cdot R_s}{n \cdot V_{th}}\right) \quad (3.19)$$

A partir de las ecuaciones (3.9) y (3.19) se consigue:

$$I_{mp} = \frac{V_{mp}-I_{mp} \cdot R_s}{n \cdot V_{th}} \cdot \frac{(I_{sc}-I_{mp}) \cdot (R_s+R_p) - (V_{mp}-n \cdot V_{th})}{R_p} \quad (3.20)$$

Haciendo la adaptación para el numero de las células en serie y despejando R_p resulta:

$$R_p(0) = NCS \cdot \left[\frac{[V_{mp}-I_{mp} \cdot R_s(0)] \cdot V_{mp} - n(0) \cdot V_{th} \cdot V_{mp}}{[V_{mp}-I_{mp} \cdot R_s(0)] \cdot (I_{sc}-I_{mp}) - n(0) \cdot V_{th} \cdot I_{mp}} \right] - R_s(0) \quad (3.21)$$

- Ecuaciones para la determinación del factor de idealidad

Teniendo en cuenta que para valores de irradiancia comprendidos entre 150 y 1050 W/m² hay una relación lineal entre la corriente de cortocircuito de la irradiancia [20].

$$I_{sc} = G_G \times G \quad (3.22)$$

La tensión del circuito abierto casi no varía respecto a la irradiancia, debido a la relación logarítmica que existe entre ambas.

$$V_{oc} = n \cdot V_{th} \cdot \ln\left(\frac{C_G \cdot G}{I_0}\right) \quad (3.23)$$

Aplicando la condición de circuito abierto a la ecuación (3.6):

$$I_L = I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{oc}}{n \cdot V_{th}}\right) - 1 \right] + \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (3.24)$$

A partir de la ecuación (3.23) se puede despejar el factor de idealidad, para ello se particulariza para el punto de máxima potencia donde se sustituye I_L e I_0 mediante las ecuaciones (3.24) y (3.18). Simplificando se llega a:

$$n = \frac{V_{oc}-V_{mp}-I_{mp} \cdot R_s}{V_{th} \cdot \ln\left[\frac{I_{sc} \cdot (R_s+R_p) - V_{oc}}{(I_{sc}-I_{mp}) \cdot (R_s+R_p) - V_{mp}}\right]} \quad (3.25)$$

Para la primera iteración, no se dispone de los valores iniciales de R_s y R_p , para ello, se supone que R_p es infinita y se sustituye ($I_{mp} \times R_s$) por V_{th} en el numerador.

$$n_a(0) = \frac{V_{oc}-V_{mp}-V_{th}}{V_{th} \cdot \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_{sc}-I_{mp}}\right)} \quad (3.26)$$

imponiendo restricciones adicionales:

$$R_s > 0 \rightarrow n_b(0) \leq \frac{V_{oc}-V_{mp}}{V_{th} \cdot \ln\left(\frac{V_{mp}}{V_{th}}\right)} \quad (3.27)$$

El otro límite para el factor de idealidad se obtiene para que R_p no se vaya a infinito. El denominador de la ecuación (3.25) debe ser mayor que 0.

$$n < \frac{(I_{sc}-I_{mp}) \cdot (V_{mp}-I_{mp} \cdot R_s)}{I_{mp} \cdot V_{th}} \quad (3.28)$$

Sustituyendo ($I_{mp} \times R_s$) por V_{th} , además de aproximar inicialmente en el denominador I_{mp} a I_{sc} :

$$n_c(0) \leq \frac{(I_{sc}-I_{mp}) \cdot (V_{mp}-V_{th})}{I_{sc} \cdot V_{th}} \quad (3.29)$$

EL valor de n_a será válido siempre y cuando es menor que los límites expresados en las ecuaciones (3.27) y (3.29) para que las restricciones para R_s y R_p sean cumplidas. Por lo tanto, el valor inicial del factor de idealidad a utilizar será el menor de los tres:

$$n(0) = \min [n_a(0); n_b(0); n_c(0)] \quad (3.30)$$

3.3. LOS REGULADORES DE CARGA

El regulador de carga es el encargado de regular la tensión y corriente de las baterías, ya que su función principal es controlar la cantidad de energía que fluye desde los paneles fotovoltaicos a las baterías. En general existen dos tipos de reguladores, que son los PWM y los MPPT.

3.3.1. Regulador PWM

Un regulador PWM es un equipo muy simple y barato que trabaja como un interruptor entre los paneles fotovoltaicos y la batería, abriendo o cerrando el paso de la corriente para que los módulos fotovoltaicos trabajen a la misma tensión que la batería.



Fig. 3.14 Regulador de carga PWM

3.3.2. Regulador MPPT

Un MPPT lleva un seguidor de máxima potencia que adapta la tensión de funcionamiento a la que proporcione la máxima potencia gracias a un convertidor CC/CC que permite trabajar a tensiones diferentes.

La función de un regulador MPPT (Maximum Power Point Tracker), es sacar más rendimiento a los módulos fotovoltaicos, ya que la energía producida por cada célula fotovoltaica depende de la irradiación y de su temperatura, por lo tanto, es necesario saber en cada momento el punto de máxima potencia sobre la característica $V \times I$ del generador fotovoltaico.






Fig. 3.15 Regulador de carga MPPT

3.4. CARGADORES SOLARES EN EL MERCADO

3.4.1. Cargadores solares sin batería

Equipo			
Marca/Modelo	RAVPower/RP-PC005 ES	Solariflex/TREK-20-USB	Suntika / X16-USB
Potencia (W)	24w	20 W	16 W
Tensión de salida (V)	24/4,8 =5v	5V	5V
Tipo de célula	Monocrystalino	Monocrystalino	CIGS
Peso (Kg)	0,748	0,590	0,265
Dimensiones (cm)	84 x 33 x1	78,4 x 26,3 x 0,2	70 x 25,5 x 0,2
Nº USB	3	2	1
Batería	No	No	No
Convertidor	No es necesario	No es necesario	No es necesario
MPPT	No se indica	No se indica	No se indica
Precio (€)	56,99	129	195

Tabla 3.1 Características de los cargadores solares sin batería

Equipo			
Marca/Modelo	Aukey / PB-P4	GRDE	1 Byone/405DE-0001
Potencia (W)	21 W	24 W	24 W
Tensión de salida (V)	5 V	6 V	5,5 V
Tipo de célula	Monocrystalino PET	Monocrystalino	Monocrystalino
Peso (Kg)	0,875	0,739	0,572
Dimensiones (cm)	69,8 x 29 x 1,4	83,1 x 26,3 x 1	81,3 x 26 x 2

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

Nº USB	2	2	2
Batería	No	No	No
Convertidor	No es necesario	No es necesario	No es necesario
MPPT	No se indica	No se indica	No se indica
Precio (€)	47,99	48,99	49,99

Tabla 3.2 Características de los cargadores solares sin batería

Equipo			
Marca/Modelo	Dragon X / B5V20W	BigBlue	1 Byone/405DE-0001
Potencia (W)	21 W	28 W	20 W
Tensión de salida (V)	5 V	5 V	5 V
Tipo de célula	Monocristalino	PET WATERPROOF	Monocristalino
Peso (Kg)	0,570	0,585	0,422
Dimensiones (cm)	58 x 30 x 1	84 x 28,2 x 0,5	81 x 15 x 3
Nº USB	2	3	2
Batería	No	No	No
Convertidor	No es necesario	No es necesario	No es necesario
MPPT	No se indica	No se indica	No se indica
Precio (€)	99	55,99	45,99

Tabla 3.3 Características de los cargadores solares sin batería

Equipo			
--------	---	--	---

Marca/Modelo	Dodocool	Suaoki / PECT-H40	Suaoki 8/ PECT-h60
Potencia (W)	12 W	40 W	60 W
Tensión de salida (V)	5 V	5 V	5 V
Tipo de célula	Monocristalino	Monocristalino	Monocristalino
Peso (Kg)	0,762	0,939	1,4
Dimensiones (cm)	70 x 18 x 1	109 x 29 x 0,2	164 x 29 x 0,2
Nº USB	2	2	2
Batería	Si / 10 000 mAh	No	No
Convertidor	No es necesario	No es necesario	No es necesario
MPPT	No se indica	No se indica	No se indica
Precio (€)	40,99	96,99	136,99

Tabla 3.4 Características de los cargadores solares sin batería




Equipo			
Marca/Modelo	BlitzWolf / BW-L1	CHOETECH	Gbtiger
Potencia (W)	20 W	19 W	40 W
Tensión de salida (V)	5 V	5 V	5 V
Tipo de célula	Monocristalino	Monocristalino	Monocristalino
Peso (Kg)	0,490	0,480	0,858
Dimensiones (cm)	64 x 27 x 1	53 x 26 x 1	126 X 34 X 0,7
Nº USB	2	2	2
Batería	No	No	No
Convertidor	No es necesario	No es necesario	No es necesario
MPPT	No se indica	No se indica	No se indica
Precio (€)	48,99	39,39	111,55

Tabla 3.5 Características de los cargadores solares sin batería

Equipo			
Marca/Modelo	GBtiger	ALLPOWERS	SW-H12
Potencia (W)	65 W	14 W	12 W
Tensión de salida (V)	5 V	5 V	5,5 V
Tipo de célula	Monocristalino	Monocristalino	Monocristalino
Peso (Kg)	1,433	0,32	0,349
Dimensiones (cm)	108 x 60 x 1	47 x 30 x 1	46,7 x 30 x 0,3
Nº USB	2	2	2
Batería	No	No	No
Convertidor	No es necesario	No es necesario	No es necesario
MPPT	No se indica	No se indica	No se indica
Precio (€)	125,14	41,89	40,55

Tabla 3.6 Características de los cargadores solares sin batería

3.4.2. Cargadores solares con batería

Equipo		
Marca/Modelo	Innoo Tech/DN23	MPHEASYGO
Potencia (W)	50 W	100 W
Tensión de salida (V)	5 V	5 V
Tipo de célula	Monocristalino	Monocristalino
Peso (Kg)	0,295	0,322
Dimensiones (cm)	15,5 x 4 x 8	18,8 x 11,4 x 3,3
Nº USB	2	2
Batería	Si	Si
Capacidad mAh	10 000	20 000

		Tipo	Polimero de litio		Tipo	Litio
Convertidor	No			No		
MPPT	No se indica			No se indica		
Precio (€)	24,99			22,99		

Tabla 3.7 Características de los cargadores solares con batería





Equipo						
Marca/Modelo	Levin / ES-6000-negro			Akeem / Solar Charger		
Potencia (W)	25 W			110 W		
Tensión de salida (V)	5 V			5 V		
Tipo de célula	Monocristalino			Monocristalino		
Peso (Kg)	0,281			0,522		
Dimensiones (cm)	18,8 x 2,5 x 13,7			18 x 11,4 x 3,2		
Nº USB	1			3		
Batería	Si	Capacidad mAh	5 000	Si	Capacidad	22 000
		Tipo	Polimero de litio		Tipo	Litio
Convertidor	No			No		
MPPT	No se indica			No se indica		
Precio (€)	11,99			32,99		

Tabla 3.8 Características de los cargadores solares con batería

Equipo						
Marca/Modelo	POWERADD			Vbestlife		
Potencia (W)	44,4			50		

Tensión de salida (V)	5V			5V		
Tipo de célula	Monocrystalino			Monocrystalino		
Peso (Kg)	0,308			0,081		
Dimensiones (cm)	16 x 8 x 2,2			13 x 7,6 x 2		
Nº USB	2			2		
Batería	Si	Capacidad	12 000	Si	Capacidad	10 000
		Tipo	Litio		Tipo	Litio
Convertidor	No			No		
MPPT	No se indica			No se indica		
Precio (€)	22,99			8,99		

Tabla 3.9 Características de los cargadores solares con batería



Equipo						
Marca/Modelo	Hiluckey			BSAMZ		
Potencia (W)	50			50		
Tensión de salida (V)	5V			5V		
Tipo de célula	Monocrystalino			Monocrystalino		
Peso (Kg)	0,200			0,240		
Dimensiones (cm)	13,5 x 7,5 x 1,7			14 x 7 x 1,5		
Nº USB	2			2		
Batería	Si	Capacidad	10 000	Si	Capacidad	10 000
		Tipo	Litio		Tipo	Litio
Convertidor	No			No		
MPPT	No se indica			No se indica		
Precio (€)	18,99			16,89		

Tabla 3.10 Características de los cargadores solares con batería





Equipo						
Marca/Modelo	X-DRAGON/XD-DC-001-BORA			BigBlue/SL-CP001A1		
Potencia (W)	50			50		
Tensión de salida (V)	5V			5V		
Tipo de célula	Monocrystalino			Monocrystalino		
Peso (Kg)	0,458			0,259		
Dimensiones (cm)	20,4 x 13,2 x 3,4			17 x 8,8 x 1,8		
Nº USB	2			2		
Batería	Si	Capacidad	10 000	Si	Capacidad	10 000
		Tipo	Litio		Tipo	Litio
Convertidor	No			No		
MPPT	No se indica			No se indica		
Precio (€)	23,99			17,99		

Tabla 3.11 Características de los cargadores solares con batería

Equipo						
Marca/Modelo	PLOCHY / P1			IZETE / YZT0002		
Potencia (W)	120			120		
Tensión de salida (V)	5V			5V		
Tipo de célula	Monocrystalino			Monocrystalino		
Peso (Kg)	0,349			0,431		
Dimensiones (cm)	15,8 x 7,7 x 1,8			16 x 8 x 2		
Nº USB	3			3		
Batería	Si	Capacidad	24 000	Si	Capacidad	24 000
		Tipo	Litio		Tipo	Litio

	Tipo	Litio	Tipo	Litio
Convertidor	No		No	
MPPT	No se indica		No se indica	
Precio (€)	29,99		19,54*	

Tabla 3.12 Características de los cargadores solares con batería

(*) el producto está en oferta



Equipo						
Marca/Modelo	BERNET			BSAMZ / bs-CDBao-058		
Potencia (W)	120					
Tensión de salida (V)	5V			5v		
Tipo de célula	Monocrystalino			Monocrystalino		
Peso (Kg)	0,481			0,281		
Dimensiones (cm)	16 x 8 x 2			16 x 8 x 1,5		
Nº USB	3			2		
Batería	Si	Capacidad	24 000	Si	Capacidad	15 000
		Tipo	Litio		Tipo Litio	Litio
Convertidor	No			No		
MPPT	No se indica			No se indica		
Precio (€)	29,99			17,99 *		

Tabla 3.13 Características de los cargadores solares con batería

(*) el producto está en oferta

3.4.3. Otros Cargadores solares

Existen otros tipos de cargadores solares sin batería, que tiene mejor diseño y aspecto, pero menos funcionales que los indicados en el apartado anterior, ya que la mayoría llevan paneles fotovoltaicos de poca potencia y que necesitan mucha radiación durante muchas horas que pueden llegar a días para poder recargar un móvil.

- Flor de escritorio

Es un equipo de 10 x 10 x 23 centímetros que produce energía eléctrica a partir de un panel solar, que a su vez la almacena en una batería de litio de 2500 mAh de capacidad,

el problema de este equipo es que necesita 25 horas de sol en un buen emplazamiento y con seguimiento del sol, cosa que no es fácil de encontrar.



Ilustración 3.9 Flor de escritorio del fabricante XINDAO [imagen de la página web del fabricante]

- Bonsái solar

Es un cargador solar que tiene muy buen diseño. Su rama de plástico sostiene pequeños paneles solares que se pueden orientar hacia el sol, es una obra del diseñador francés Vvien Muller, dispone de nueve paneles fotovoltaicos que alimentan una batería de 1200 mAh en cuatro horas a pleno sol, hay modelo más grande que cuenta con 27 ramas- paneles con una capacidad de 2500 mAh a pleno sol



Ilustración 3.10 Bonsái solar. [18].

- Port solar charger

Es un dispositivo que sirve para recargar nuestros dispositivos cuando estemos de viaje, ya que se puede adherir en la ventana del avión, tren, autobús o coche, de esta forma capta la luz disponible por el panel fotovoltaico y lo transforma en energía eléctrica.



Ilustración 3.11 Port solar charger del fabricante XINDAO [imagen de la página web del fabricante].



4. ENSAYOS Y MEDICIONES

Para llegar a una conclusión, había que hacer pruebas reales sobre los cargadores solares para ver su comportamiento a distintas horas del día, con diferentes temperaturas e irradiancia, conocer la potencia real que ofrecen, y el tiempo que tardan en cargar un dispositivo móvil.

En el laboratorio de tecnologías apropiadas (en parte del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Carlos III de Madrid) existe un panel flexible con salida USB para carga de dispositivos DC (Flexcell Sunpack), disponible para ser usado en el TFG. Además, se ha decidido comprar otro cargador solar sin batería de entre los disponibles actualmente en el mercado (y que han de ser analizados). Se someterán ambos a los ensayos necesarios y se compararán los resultados obtenidos.

La gran desventaja que se ha encontrado a la hora de hacer el estudio es que no se ha podido acceder a la curva característica I-V de los paneles, y ningún manual con características técnicas del equipo, ya que en general existe una falta de documentación (reglamentos, libros, fichas técnicas...etc.) sobre los cargadores solares, que pueden ayudar a tener una idea más amplia y tener informaciones técnicas suficiente sobre el funcionamiento del equipo.

4.1. EQUIPOS DE PRUEBA

Equipo		
Marca/Modelo	RAVPower/RP-PC005 ES	Flexcell Sunpack
Potencia (W)	24 W	14 W
Tensión de salida (V)	5 V	15 V
Tipo de célula	Monocristalino	silicio amorfo
Peso (Kg)	0,748	0,740
Dimensiones (cm)	84 x 33 x 1	150 x 35 x 0.12
Nº USB	3	No USB (Conexión encendedor)
Batería	No	Si
Convertidor	No es necesario	No es necesario
MPPT	No se indica	No se indica

Precio (€)	56,99	129
------------	-------	-----

Tabla 4.1 Cargadores solares de prueba

- RAVPower/RP-PC005 ES



Ilustración 4.1 Salidas USB del cargador solar RavPwer

Ilustración 4.2 Panel fotovoltaico del cargador solar RavPower

Después de hacer una búsqueda en el mercado sobre los cargadores solares que no llevan baterías, se ha elegido el equipo RAVPower/RP-PC005 ES, por tener una potencia de 24 W, que es la suficiente para recargar un móvil en un tiempo razonable. El equipo tres salidas de USB que nos permite conectar varios dispositivos a la vez, además su precio no supera los 57 €, cosa que no se encuentra en el resto de los equipos, este cargador tiene una eficiencia de 21,5 % - 23,5 %, y dispone de la tecnología iSmart que detecta y suministra la corriente de forma automática con una carga óptima.

El equipo ha sido comprado por el departamento de la ingeniería eléctrica de la universidad Carlos III de Madrid, donde lo he recogido para poder hacer los estudios y las pruebas necesarias para poder obtener la curva I-V y las características técnicas del cargador solar.

- Flexcell Sunpack



Ilustración 4.3 Cargador solar Flexcell Sunpack

Este panel pertenece al laboratorio de la universidad Carlos III de Madrid. Es un panel distinto al otro en varios aspectos, ya que tiene menor potencia, dispone de una batería y es flexible.

La utilización de este panel nos va a ayudar a hacer una comparación de los resultados entre los dos cargadores que disponemos.

- Sistema de adquisición de datos

La manera más exacta y rápida de obtener la curva I-V es utilizar un condensador que se carga hasta alcanzar la tensión de circuito abierto del cargador solar, durante esta carga el panel esta al mismo voltaje que el condensador en todo momento

Por tanto, al medir la corriente y la tensión del panel se obtiene la curva característica a partir de un sistema de adquisición de datos, que en nuestro caso usamos un software que recopila las medidas y las presenta en un fichero de texto.



Ilustración 4.4 Parte trasera de la caja de adquisición de datos



Ilustración 4.5 Parte frontal de la caja de adquisición de datos

- Equipos de media



Ilustración 4.6 Polímetro



Ilustración 4.7 Medidor de irradiancia solar

Para completar el ensayo, se ha utilizado un medidor de irradiancia para saber los W/m^2 en cada instante, además de un polímetro que nos permite saber la corriente y la tensión que estamos manejando en todo momento, finalmente un sensor para medir la temperatura del panel fotovoltaico.

4.2. MEDICIONES

El objetivo de estas mediciones es obtener la curva característica I-V y hacer ensayos de consumo energético del cargador solar, haciendo después una comparación entre dichas curvas y encontrar los factores que la afectan. Para ello, montamos nuestro circuito y hacemos las medidas, en diferentes horas del día con distintas irradiancias y distintas temperaturas. En cada medición se ha medido la corriente y la tensión con un polímetro para saber el punto de funcionamiento.

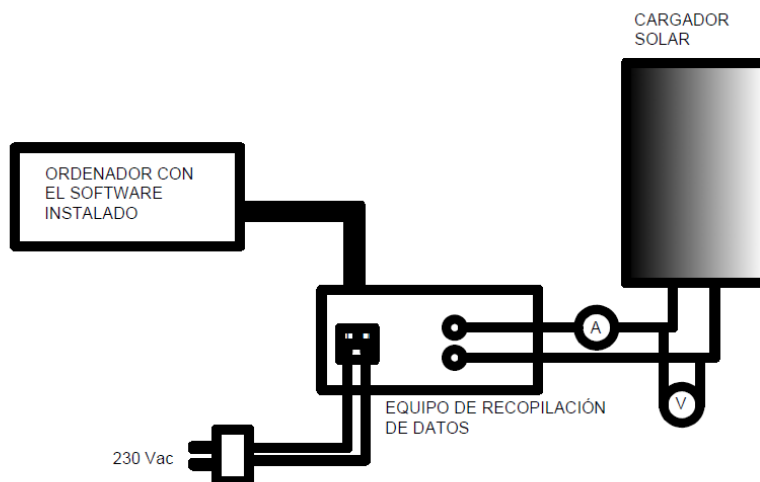


Fig. 4.1 Esquema de conexión para la obtención de la curva I-V [elaboración propia]

Primero se ha conectado el cargador solar al equipo de recopilación de datos a través de uno voltímetro y un amperímetro, que a su vez se conecta a una fuente de alimentación de 230 Vac obtenida de un enchufe, finalmente se conecta a un ordenador que lleva el software instalado para poder visualizar los datos de corriente y tensión en cada milisegundo, sumando un total de 200 puntos.

Para la obtención de la curva I-V, se ha utilizado el software de la caja de recopilación de datos que tiene el siguiente aspecto (ver ilustración 4.8). Al principio, en la pestaña control, se hace un clic en nuevo ensayo y después en pestaña PLAY. Finalmente, el software genera las curvas de tensión y corriente respecto al tiempo (ver ilustración 4.9) y un documento de formato TXT con 200 puntos con sus respectivos datos de corriente y tensión.

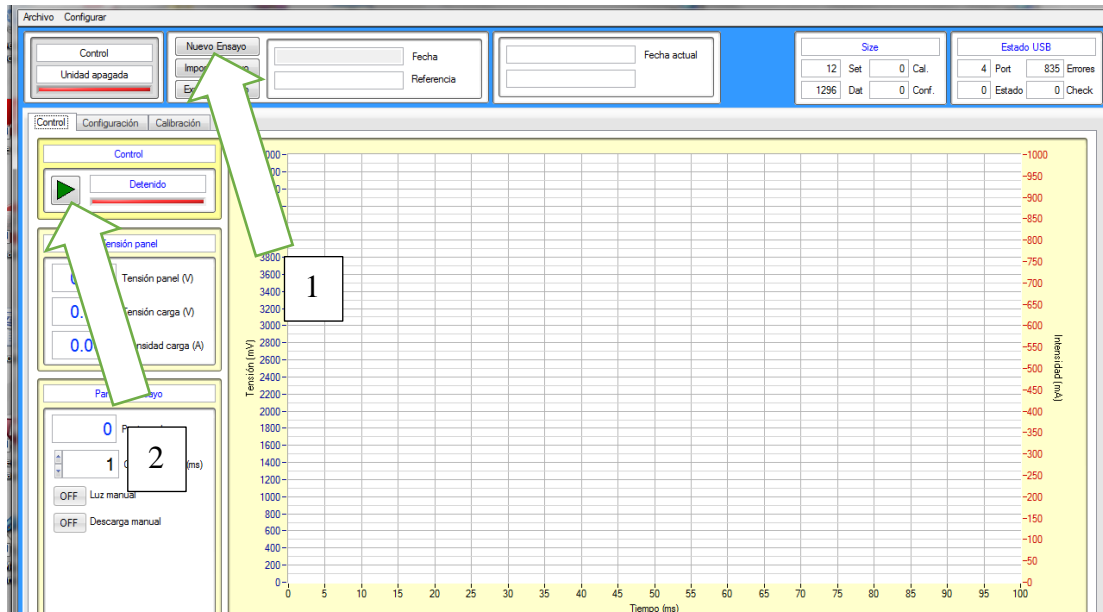


Ilustración 4.8 Página principal del software de la caja de adquisición de datos

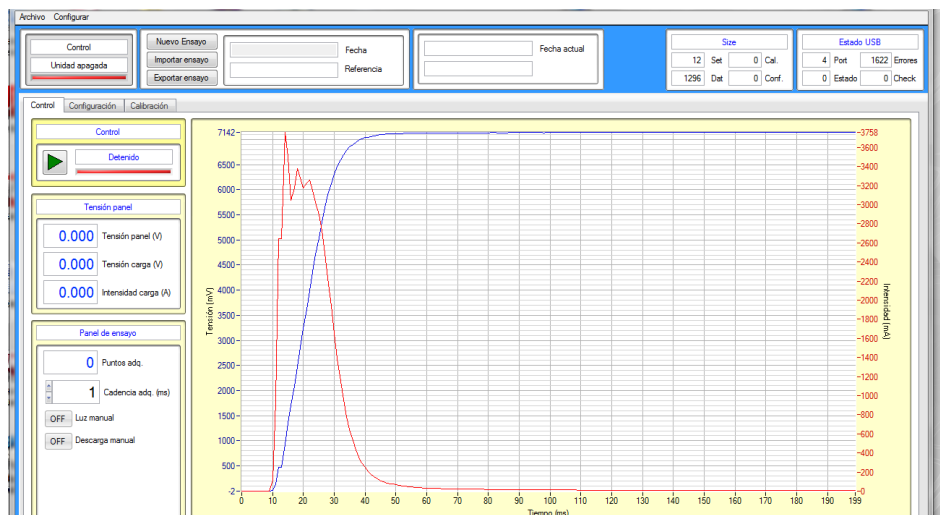


Ilustración 4.9 Página del software de la caja después de obtener la medición

4.2.1. Curvas características del panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico ha sido expuesto a la luz del sol en diferentes horas del día para poder notar la diferencia, donde se ha elegido tres periodos que son: mañana, mediodía, tarde y muy tarde, además se ha medido la temperatura y la irradiancia en cada ensayo.

También se han tomado medidas de corriente y tensión en cada caso durante la carga de un teléfono móvil que está al 5% de su carga máxima, para saber el punto de trabajo del cargador solar e identificar si está en el punto de máxima potencia.

Mediciones tomadas durante el mes de septiembre de 2017

- Cargador solar Flexcell Sunpack
 - Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiancia W/m ²
10:00	17	26	829

Tabla 4.2 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 10:00 h

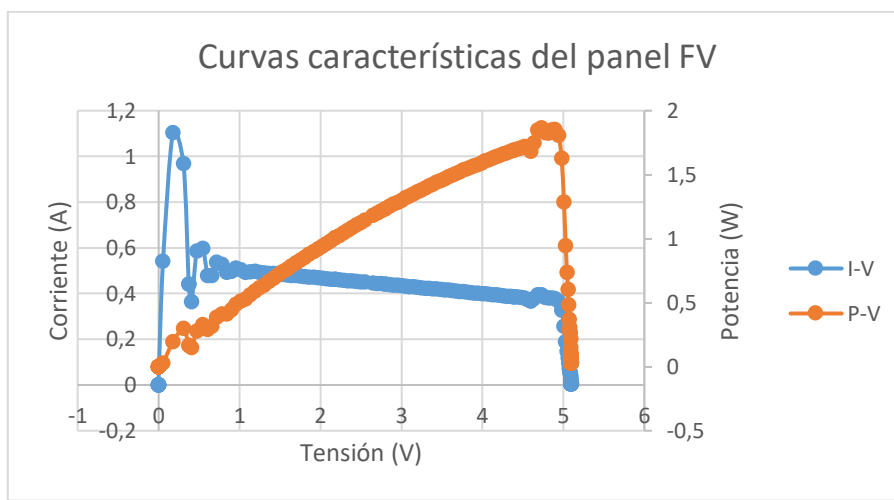


Fig. 4.2 Curvas características del panel FV en septiembre a las 10:00 h

Para tensiones bajas se observan unas oscilaciones provocadas por el circuito electrónico de la carga que hacen falsear las medidas, para ello se ha decidido eliminarlas de las gráficas dejando las partes más importantes que indican el funcionamiento real del cargador solar.

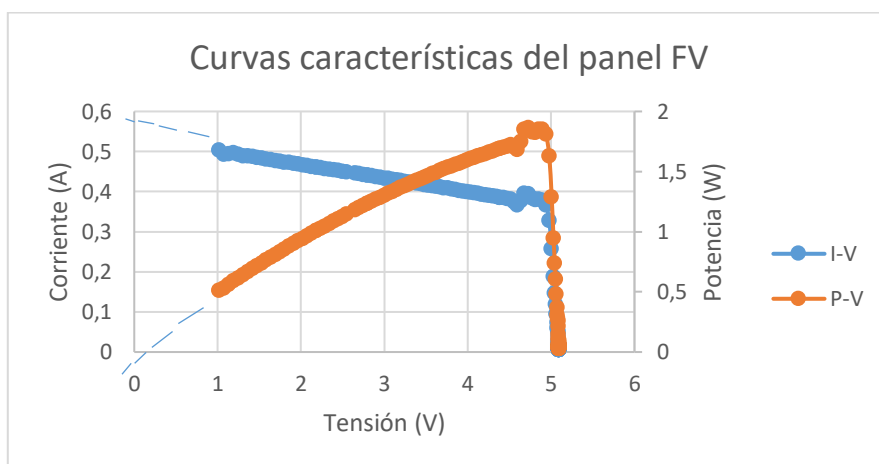


Fig. 4.3 Curvas características del panel FV en septiembre a las 10:00 h (sin oscilaciones)

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
5	0,10	0,50

Tabla 4.3 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 10:00 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación W/m ²
14:00	41	27	1021

Tabla 4.4 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 14:00 h

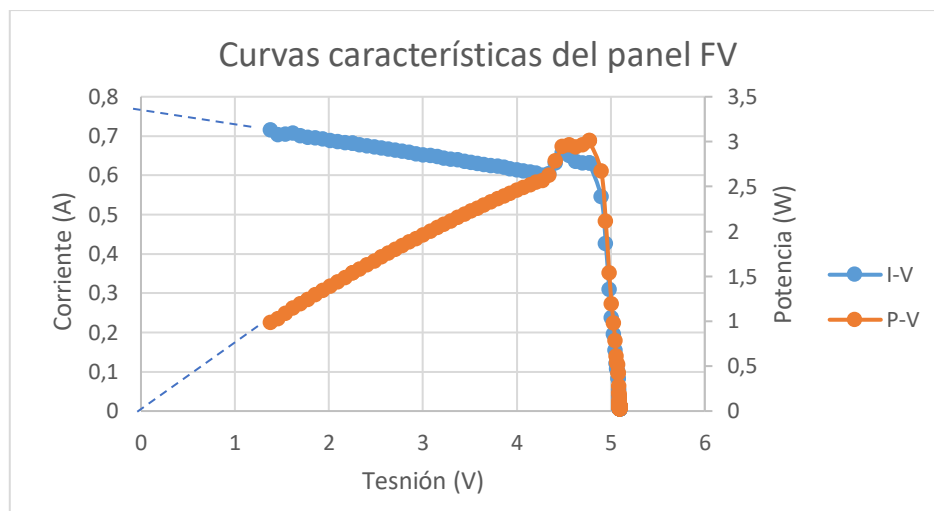


Fig. 4.4 Curvas características del panel FV en septiembre a las 14:00 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
4,80	0,47	2,30

Tabla 4.5 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 14:00 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación W/m ²
16:20	40	28	996

Tabla 4.6 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 16:20 h

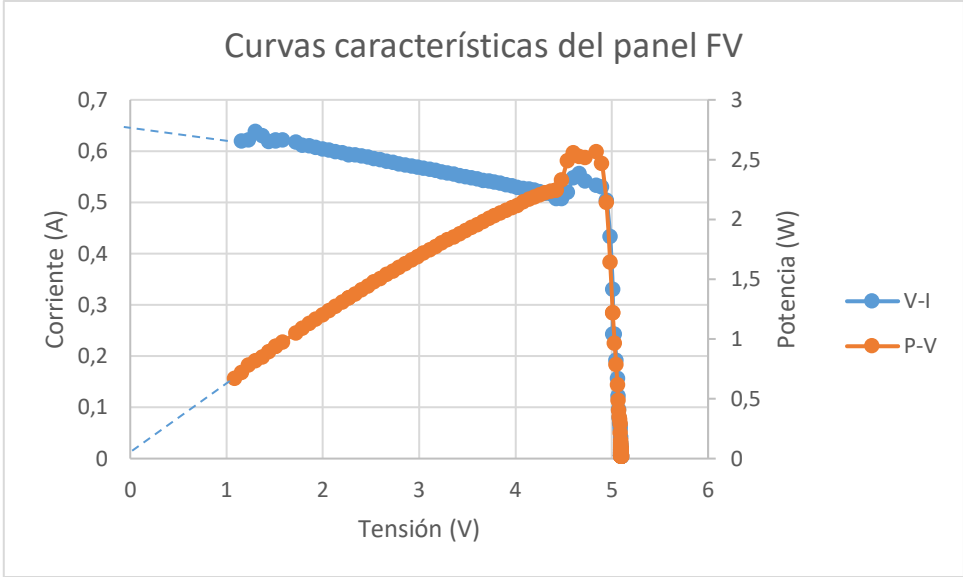


Fig. 4.5 Curvas características del panel FV en septiembre a las 16:20 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
4,98	0,33	1,64

Tabla 4.7 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 16:20 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiancia W/m ²
19:00	27	28	560

Tabla 4.8 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 19:00 h

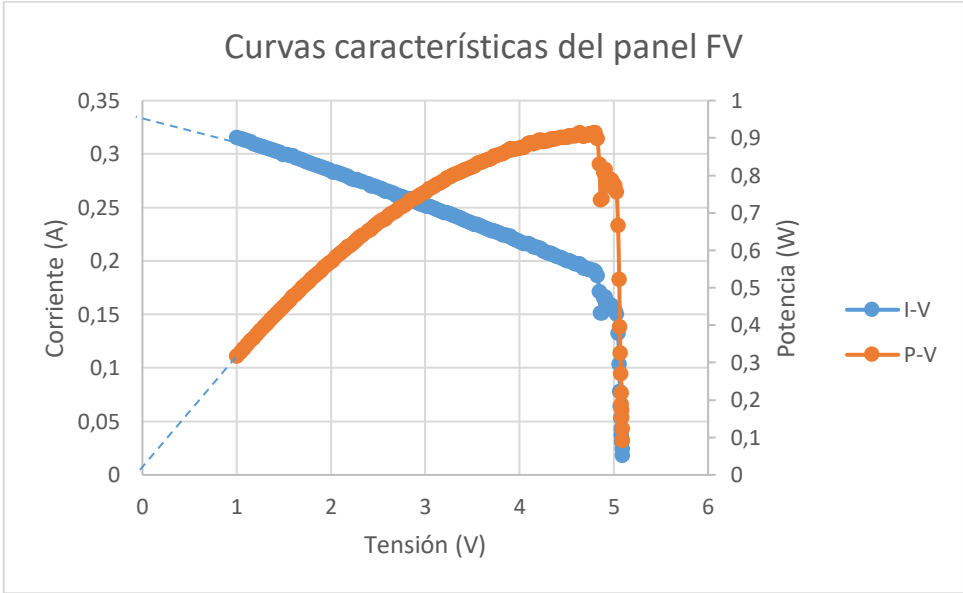


Fig. 4.6 Curvas características del panel FV en septiembre a las 19:00 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
5	0,01	0,05

Tabla 4.9 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 19:00 h

- Cargador solar RAVPower/RP-PC005 ES

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación W/m ²
10:00	17	26	829

Tabla 4.10 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 10:00 h

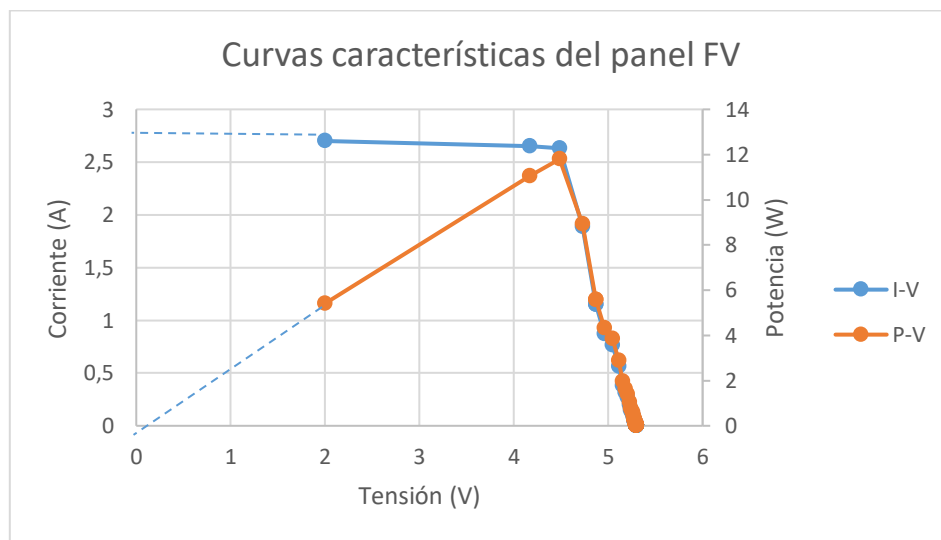


Fig. 4.7 Curvas características del panel FV en septiembre a las 10:00 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
5,23	0,10	0,52

Tabla 4.11 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 10:00 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación W/m ²
14:00	43	27	1022

Tabla 4.12 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 14:00 h

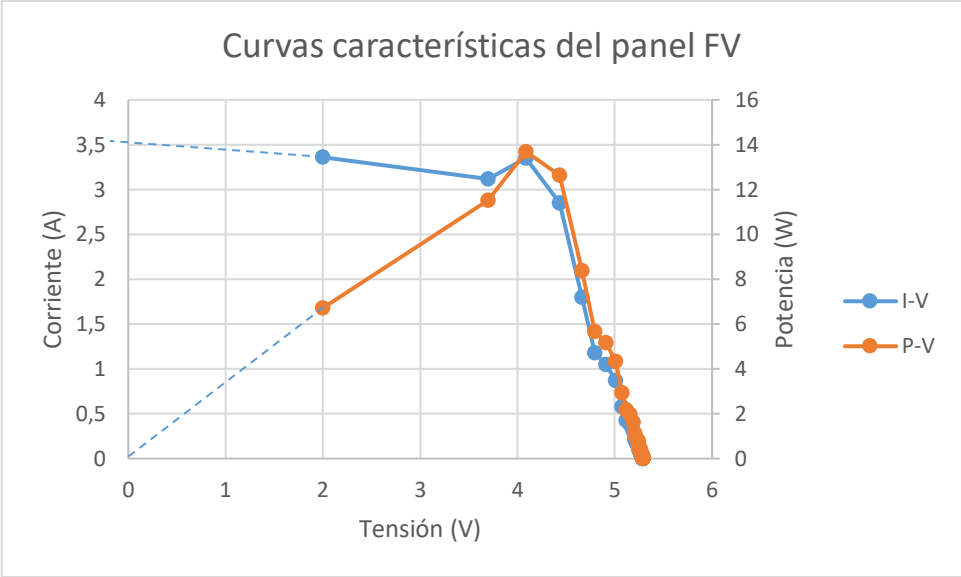


Fig. 4.8 Curvas características del panel FV en septiembre a las 14:00 h

- Medidas de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
5	0,61	3,05

Tabla 4.13 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 14:00 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiancia W/m²
16: 13	44°C	28°C	996

Tabla 4.14 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 16:13

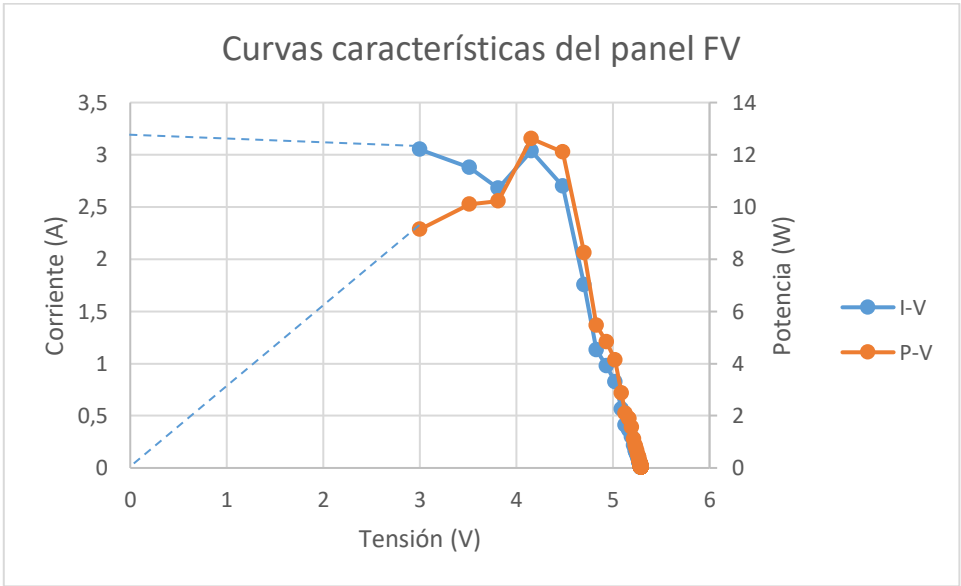


Fig. 4.9 Curvas características del panel FV en septiembre a las 16:13 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
5	0,47	2,4

Tabla 4.15 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 16:13 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación W/m ²
19:00	27	29	560

Tabla 4.16 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 19:00 h

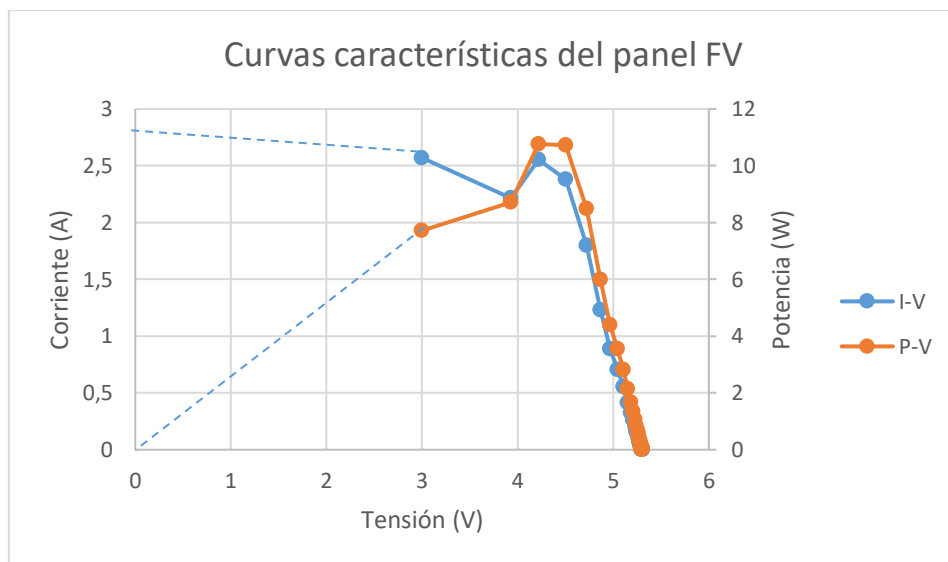


Fig. 4.10 Curvas características del panel FV en septiembre a las 19:00 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
2,17	0,6	1,30

Tabla 4.17 Mediciones durante la carga de batería en septiembre a las 19:00 h

Medidas tomadas durante el mes de enero de 2018

El panel fotovoltaico ha sido expuesto a la luz del sol en diferentes horas del día para poder notar la diferencia, donde se ha elegido tres periodos que son: mañana, mediodía, tarde. Además se ha medido la temperatura y la irradiación en cada ensayo. En este caso no se ha podido hacer el ensayo de las 19:00h, como en el ensayo de septiembre ya que en enero la puesta del sol es a las 18:30 h, también se hizo el ensayo de consumo energético, usando el mismo teléfono móvil de los ensayos de septiembre.

- Cargador solar Flexcell Sunpack
 - Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación W/m ²
10:00	10	8	700

Tabla 4.18 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 10:00 h

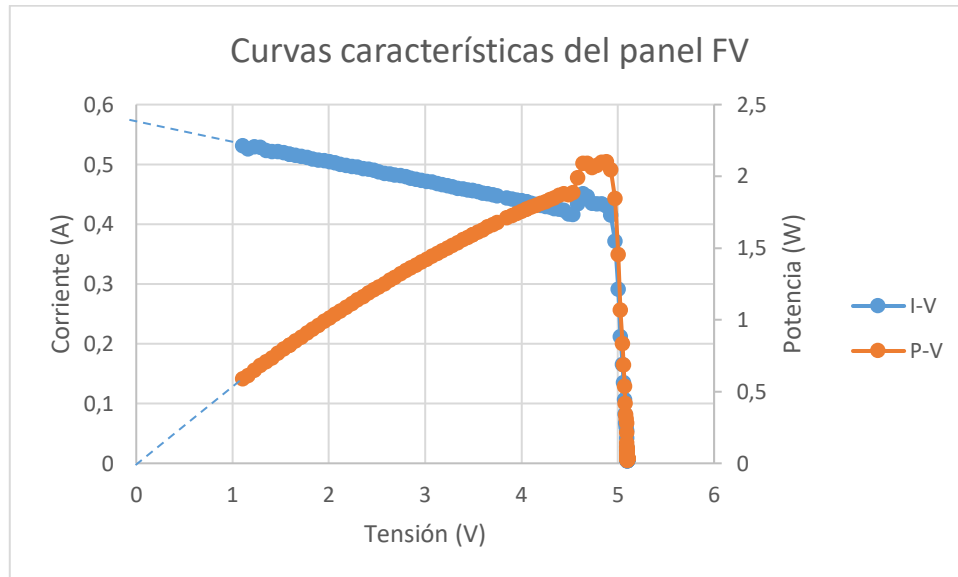


Fig. 4.11 Curvas características del panel FV en enero a las 10:00 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
4,78	0,40	1,91

Tabla 4.19 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 10:00 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación W/m ²
14:00	21	10	890

Tabla 4.20 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 14:00 h

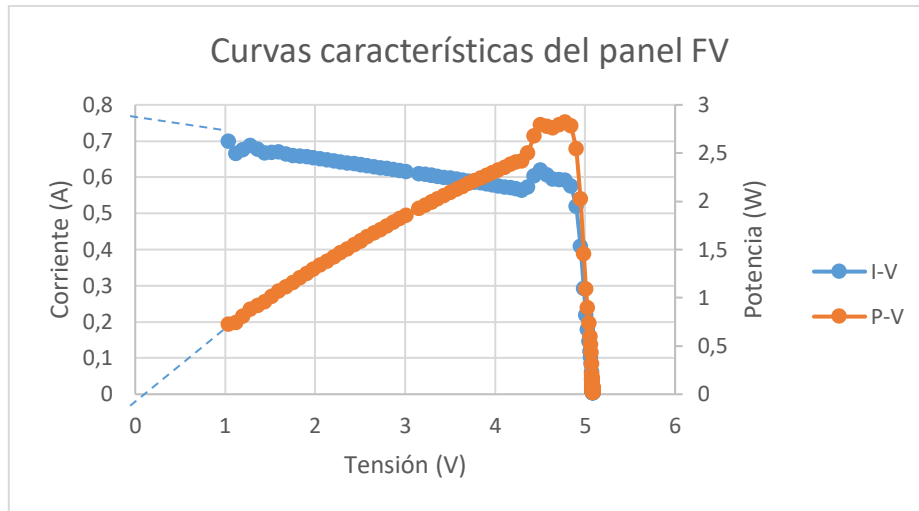


Fig. 4.12 Curvas características del panel FV en enero a las 14:00 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
4,89	0,51	2,49

Tabla 4.21 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 14:00 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación W/m ²
16:20	21	12	700

Tabla 4.22 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 16:20 h

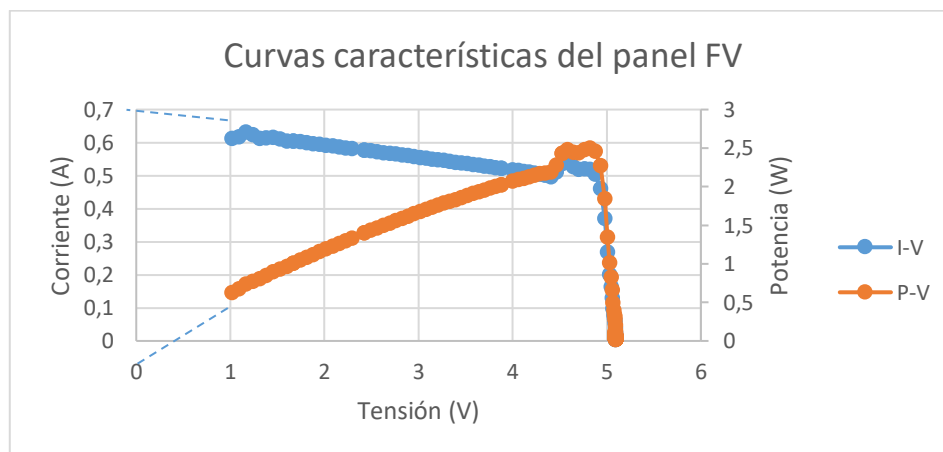


Fig. 4.13 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 16:20 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
4,79	0,32	1,53

Tabla 4.23 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 16:00 h

- Cargador solar RAVPower/RP-PC005 ES
 - Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiáncia W/m ²
10:00	19	4	700

Tabla 4.24 Datos del ambiente durante la medición en septiembre a las 10:00 h

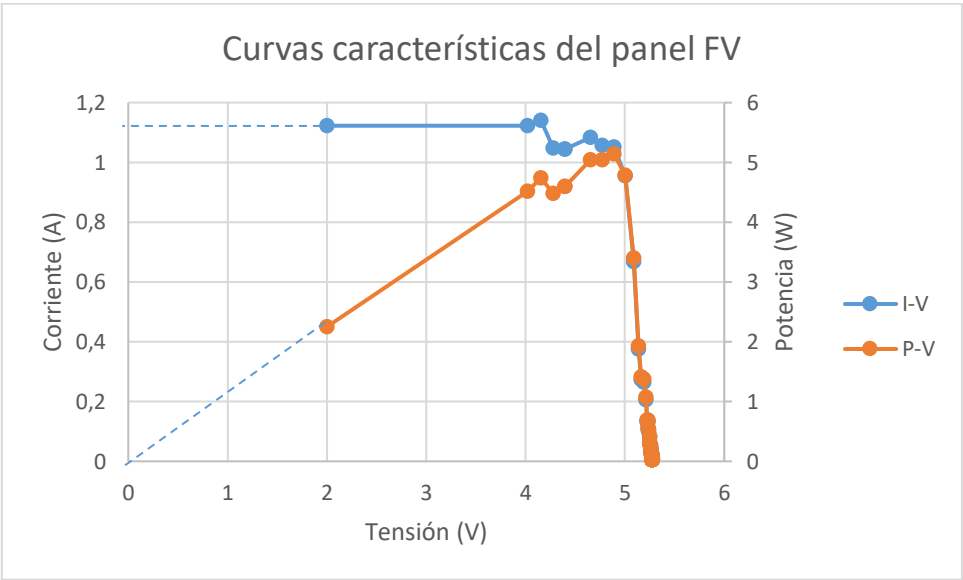


Fig. 4.14 Curvas características del panel FV en enero a las 10:00 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
4,97	0,54	2,68

Tabla 4.25 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 10:00 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiáncia W/m ²
14:00	21	7	990

Tabla 4.26 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 14:00 h

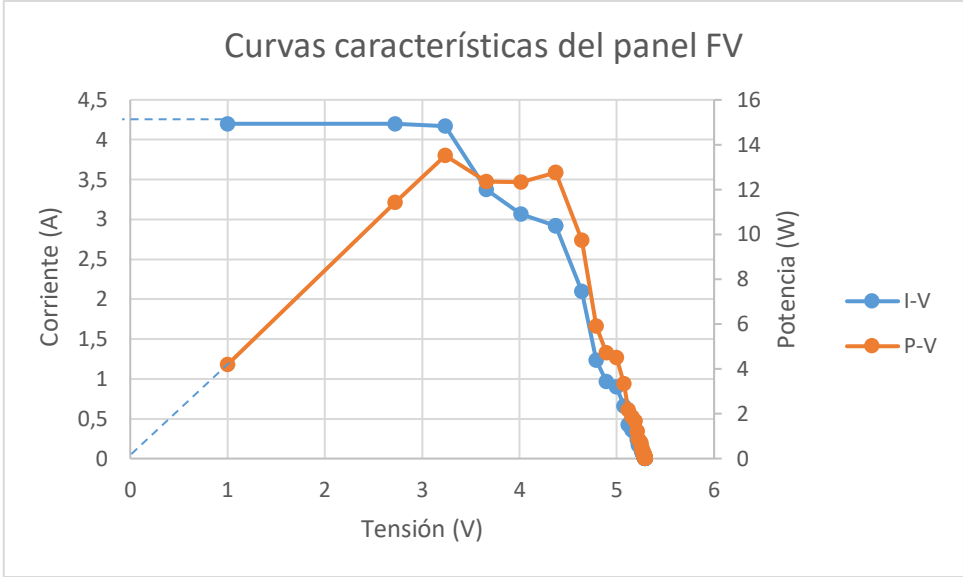


Fig. 4.15 Curvas características del panel FV en enero a las 14:00 h

- Medidas de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
4,99	0,61	3,04

Tabla 4.27 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 14:00 h

- Toma de datos

Hora del día (horas)	Temperatura de panel (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación W/m ²
16: 15	24	11	883

Tabla 4.28 Datos del ambiente durante la medición en enero a las 16:15 h

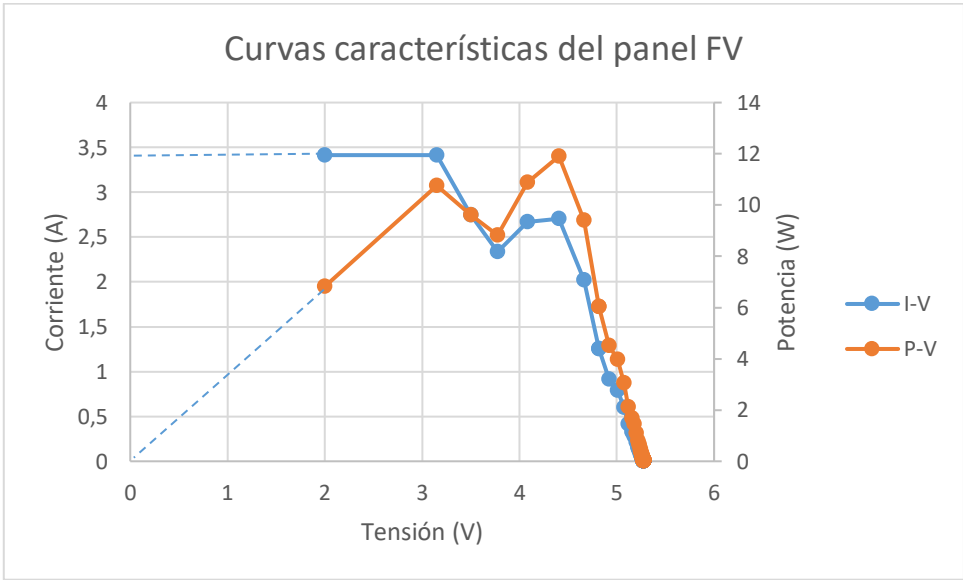


Fig. 4.16 Curvas características del panel FV en enero a las 16:15 h

- Medida de carga de batería

Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
4,97	0,61	3,03

Tabla 4.29 Mediciones durante la carga de batería en enero a las 16:15 h

4.2.2. Ensayos del consumo energético

El ensayo del consumo energético consiste en medir la tensión, la corriente y la potencia que ofrece el panel fotovoltaico en cada momento durante la carga de la batería del móvil, para saber el punto de trabajo del cargador solar, que nos permite saber qué tipo de regulador lleva instalado.

- Medidas en septiembre

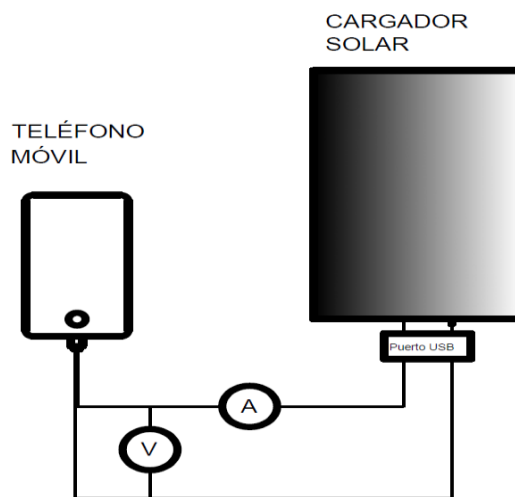


Fig. 4.17 Esquema de medición de tensión y corriente

Fecha	Temperatura (°C)	Temperatura del panel (°C)	Capacidad de la batería mAh	Irradiancia W/m ²	Hora del día (horas)
29/09/17	28	39	1440	880	14:00

Tabla 4.30 Datos del ambiente al principio de la medición en septiembre

Corriente	Tensión	% carga	tiempo (min)	Potencia (W)	Irradiancia W/m ²
0,61	5,11	8	10	3,1171	880
0,61	5,11	15	20	3,1171	
0,61	5,11	22	30	3,1171	
0,61	5,12	28	40	3,1232	
0,61	5,12	33	50	3,1232	
0,61	5,11	39	60	3,1171	
0,61	5,11	46	70	3,1171	
0,61	5,12	54	80	3,1232	
0,61	5,11	61	90	3,1171	

0,61	5,14	68	100	3,1354	
0,61	5,14	73	110	3,1354	
0,55	5,18	78	120	2,849	780
0,5	5,19	82	130	2,595	
0,47	5,2	84	140	2,444	
0,41	5,21	87	150	2,1361	
0,38	5,21	89	160	1,9798	
0,36	5,23	90	170	1,8828	
0,34	5,24	92	180	1,7816	
0,32	5,24	94	190	1,6768	710
0,32	5,24	97	200	1,6768	
0,32	5,2	99	210	1,664	
0,32	5,2	100	220	1,664	

Tabla 4.31 Mediciones de tensión y corriente en septiembre

Las siguientes graficas representan el valor de la corriente, la tensión y la potencia frente al tiempo, teniendo en cuenta que la carga de la batería al 100% ha tardado unos 220 min.

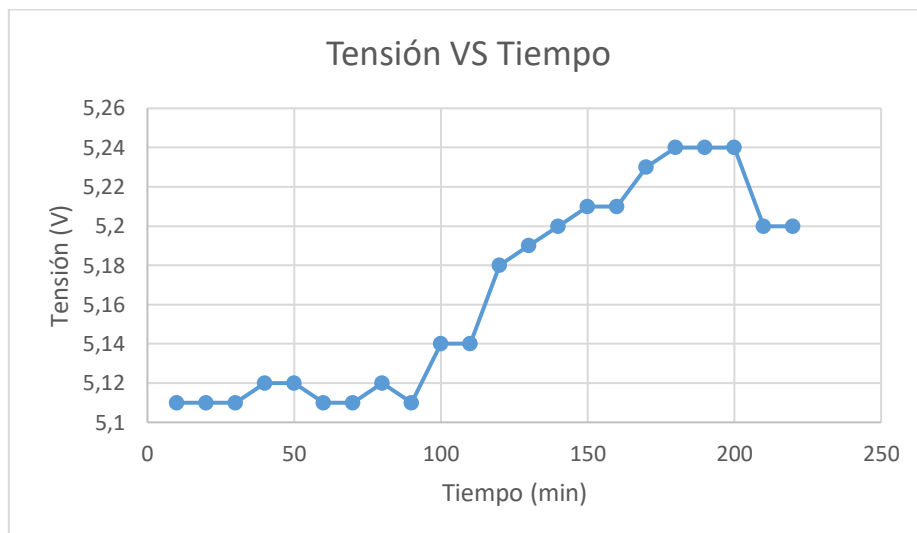


Fig. 4.18 Representación de la tensión frente al tiempo

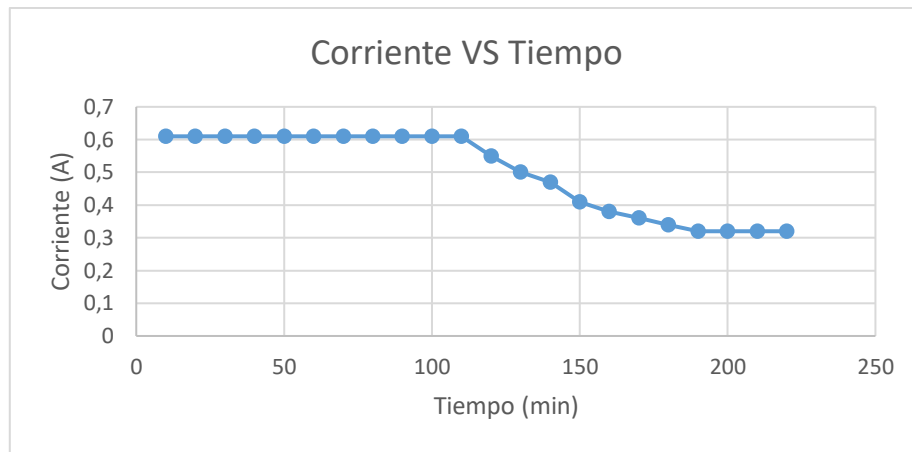


Fig. 4.19 Representación de la corriente frente al tiempo

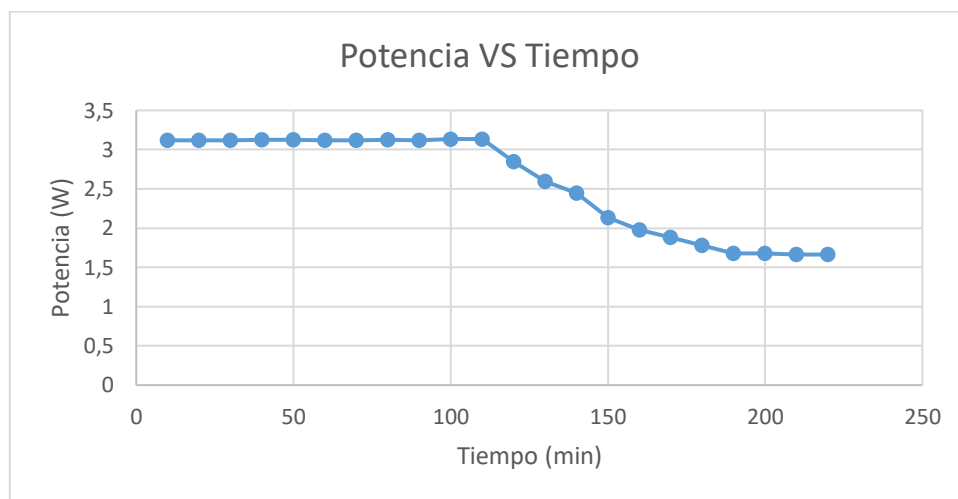


Fig. 4.20 representación de la potencia frente al tiempo

Las siguientes graficas representan el valor de la corriente, la tensión y la potencia frente porcentaje de carga de la batería.

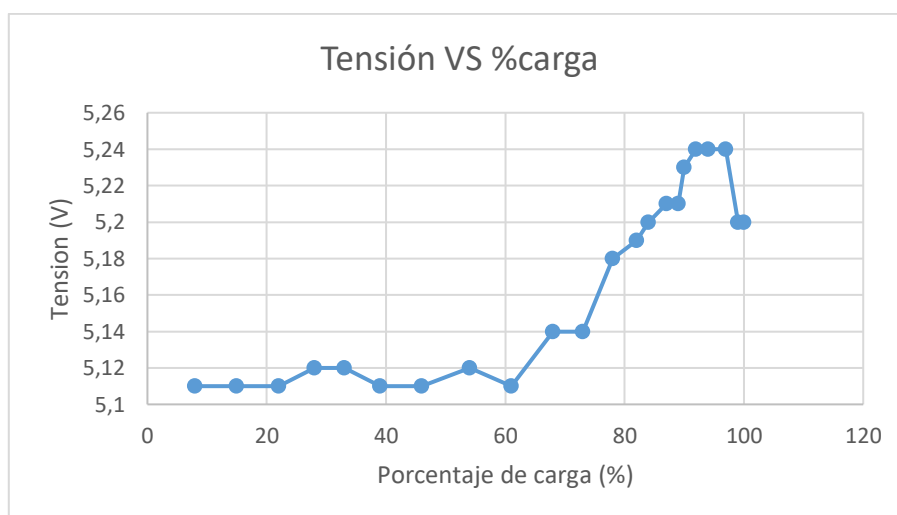


Fig. 4.21 Representación de la tensión frente al porcentaje de carga de la batería

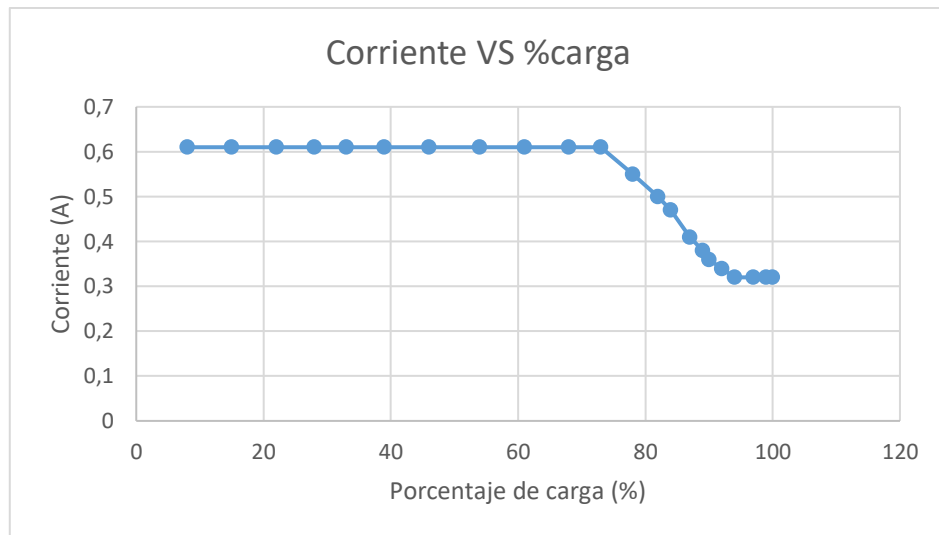


Fig. 4.22 Representación de la corriente frente al porcentaje de carga de la batería

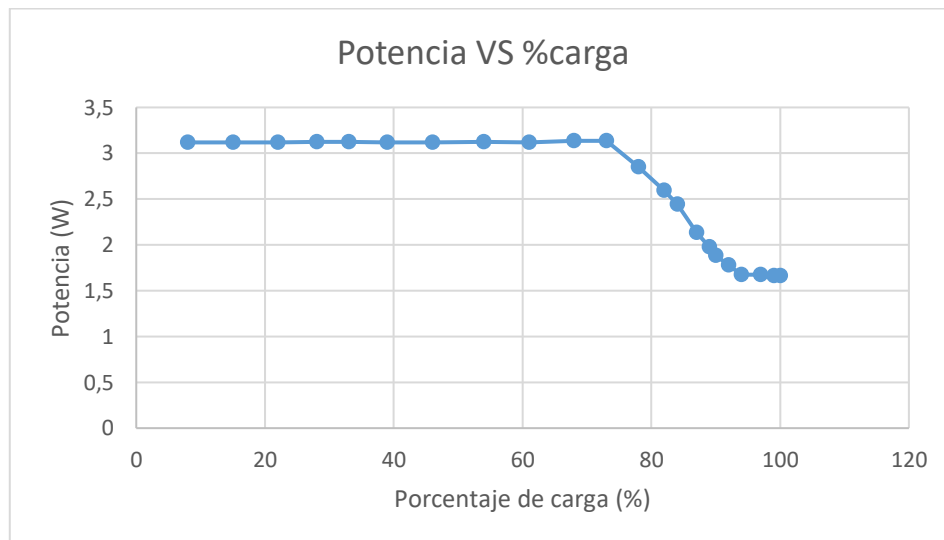


Fig. 4.23 Representación de la potencia frente al porcentaje de carga de la batería

- Medidas en enero

Fecha	Temperatura (°C)	Temperatura del panel (°C)	Capacidad de la batería mAh	Irradiancia W/m ²	Hora del día (horas)
21/01/18	16	25	1440	620	14:00

Tabla 4.32 Datos del ambiente al principio de la medición en enero

Corriente	Tensión	% carga	tiempo (min)	Potencia (W)	Irradiancia W/m ²
0,69	4,87	7	10	3,3603	1004
0,76	4,98	16	20	3,7848	
0,73	4,98	23	30	3,6354	
0,67	4,94	28	40	3,3098	
0,65	4,98	33	50	3,237	

0,66	4,93	38	60	3,2538	770
0,61	4,98	44	70	3,0378	
0,6	4,98	50	80	2,988	
0,66	4,94	57	90	3,2604	
0,59	4,88	61	100	2,8792	
0,45	4,79	65	110	2,1555	
0,5	4,8	67	120	2,4	
0,56	4,9	71	130	2,744	
0,49	4,8	75	140	2,352	
0,38	4,77	77	150	1,8126	240
0,42	4,77	79	160	2,0034	
0,23	4,71	81	170	1,0833	
NO SE HA COMPLETADO LA CARGA POR FALTA DE IRRADIANCIA					5

Tabla 4.33 Medición de tensión y corriente en enero

Las siguientes graficas representan el valor de la corriente, la tensión y la potencia frente al tiempo, teniendo en cuenta que en este caso no se ha podido cargar la batería del móvil al 100% debido a la falta de irradiancia solar por la tarde en el día del ensayo, consiguiendo un 81% de la carga máxima en 170 minutos.

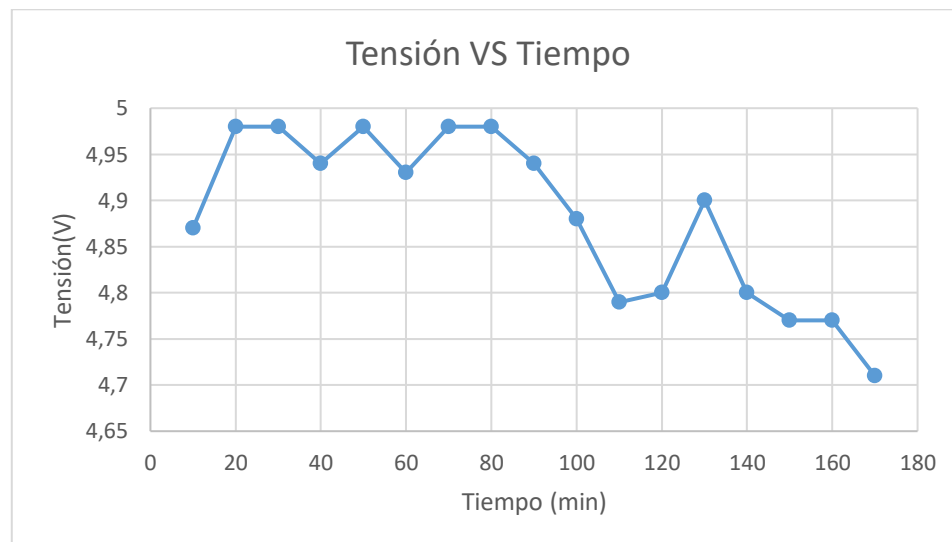


Fig. 4.24 Representación de la tensión frente al tiempo

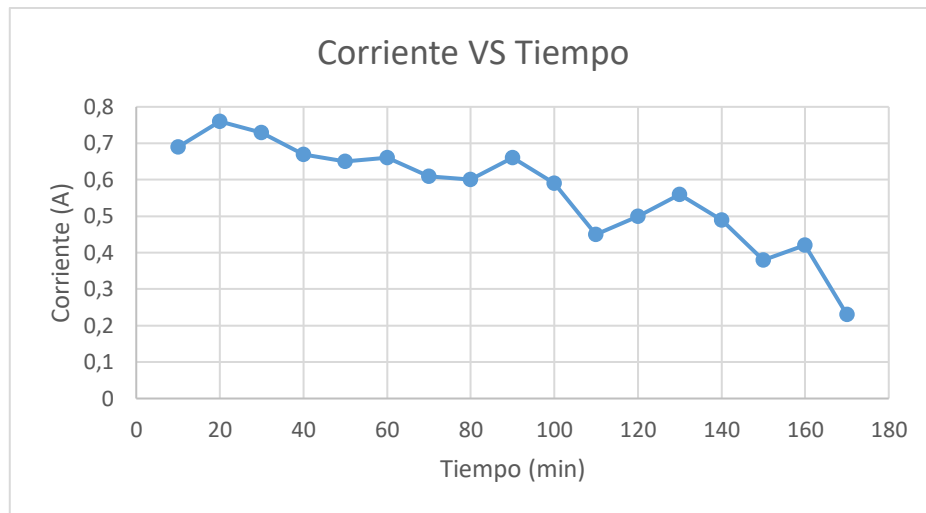


Fig. 4.25 Representación de la corriente frente al tiempo

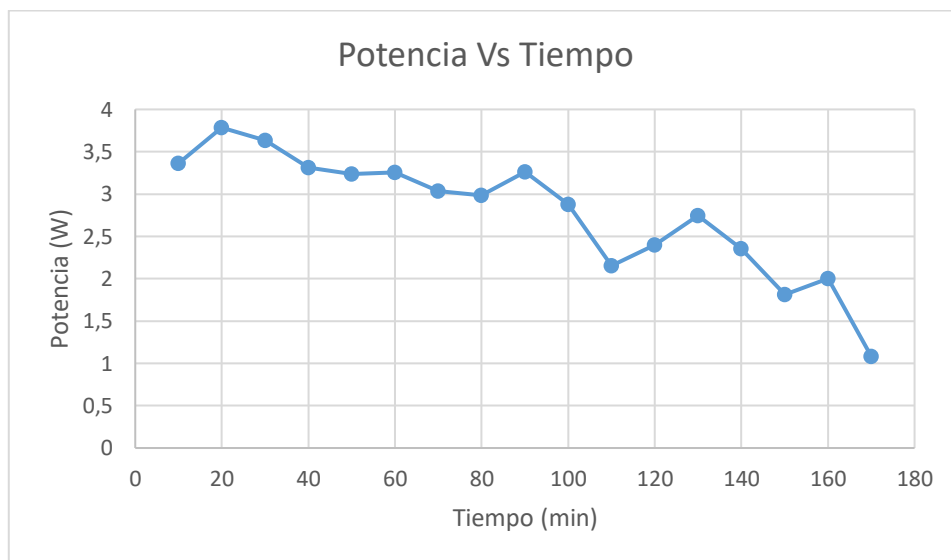


Fig. 4.26 Representación de la potencia frente al tiempo

Las siguientes graficas representan el valor de la corriente, la tensión y la potencia frente a la carga.

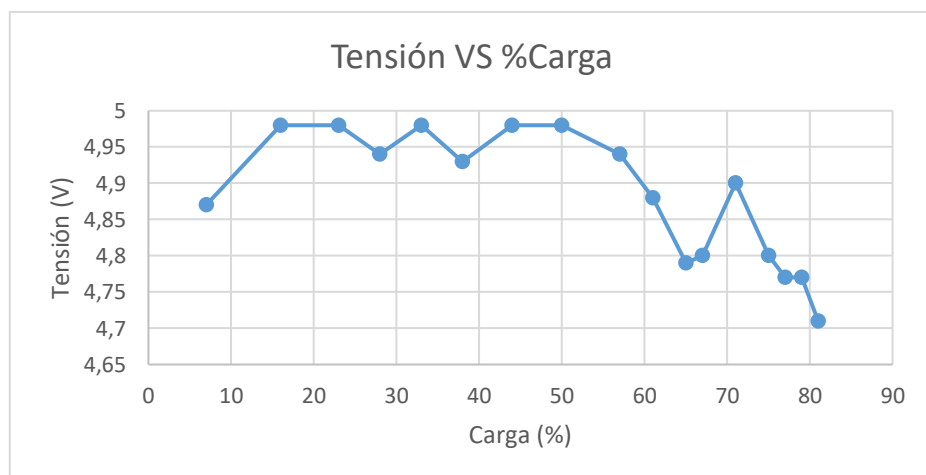


Fig. 4.27 Representación de la tensión frente al porcentaje de la carga

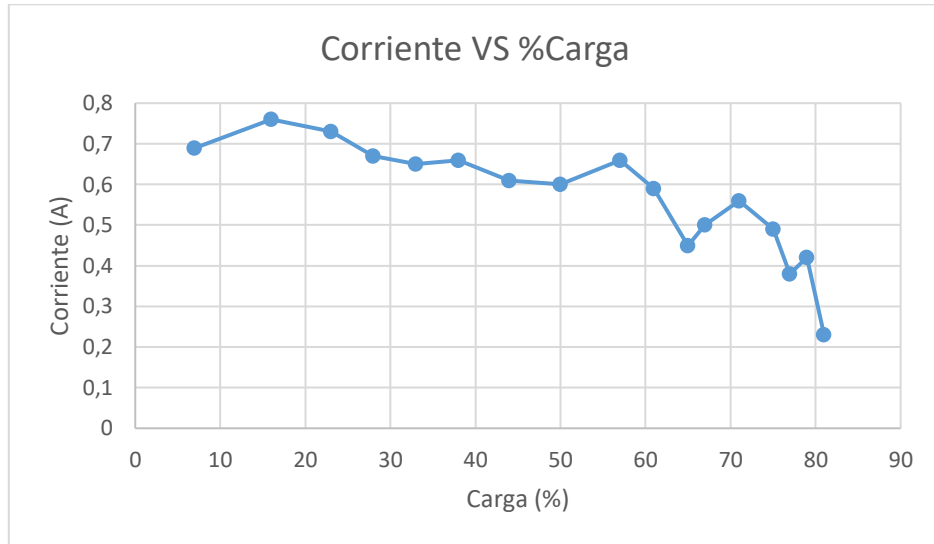


Fig. 4.28 Representación de la corriente frente al porcentaje de la carga

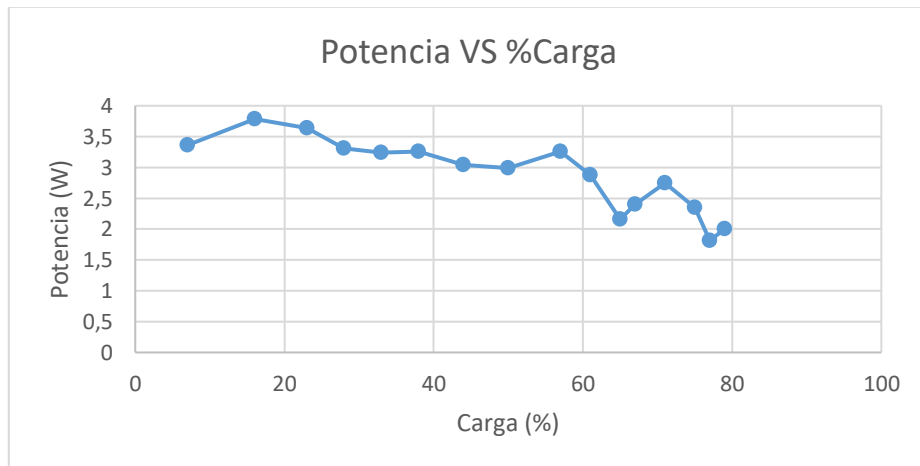


Fig. 4.29 Representación de la potencia frente al porcentaje de la carga

4.2.3. Resumen de los resultados

A partir del ensayo de la curva I-V, se ha obtenido la curva característica del panel fotovoltaico del cargador solar junto con la curva de potencia frente a la tensión en diferentes horas del día. También se ha medido la corriente y la tensión en cada momento que está entregando el cargador solar a un batería de un teléfono móvil iPhone 5 de 1440mAh., consiguiendo estos resultados:

- Las gráficas de septiembre

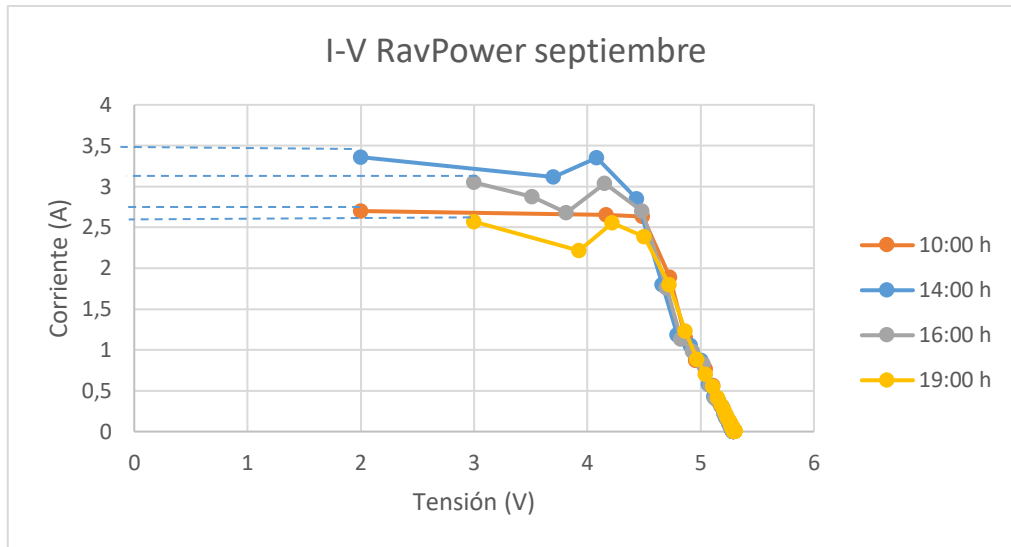


Fig. 4.30 Curvas I-V del Cargador RavPoweer en septiembre

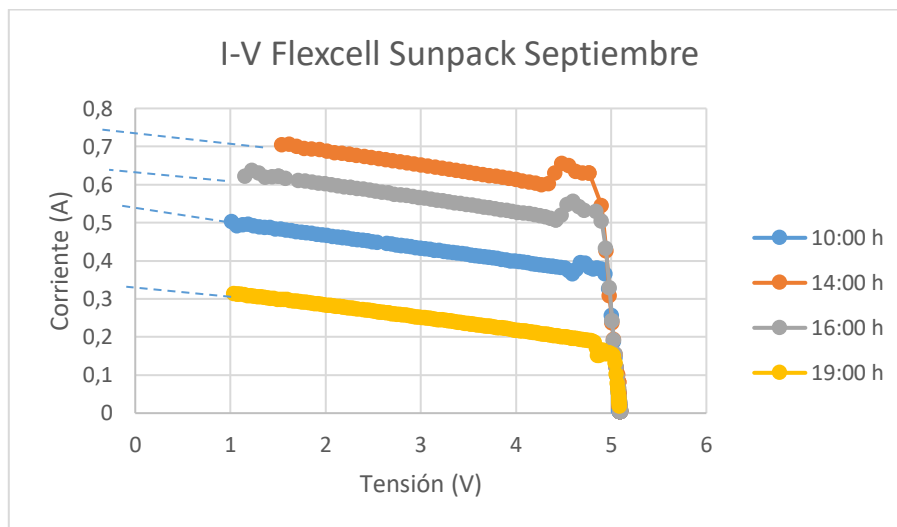


Fig. 4.31 Curvas I-V del cargador Flexcell Sunpack en septiembre

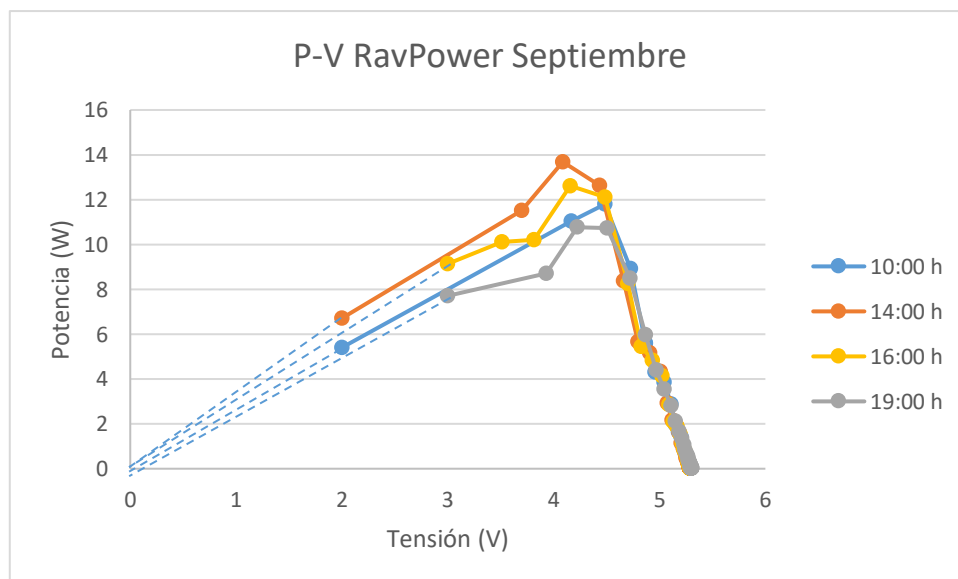


Fig. 4.32 Curvas P-V del cargador RavPower en septiembre

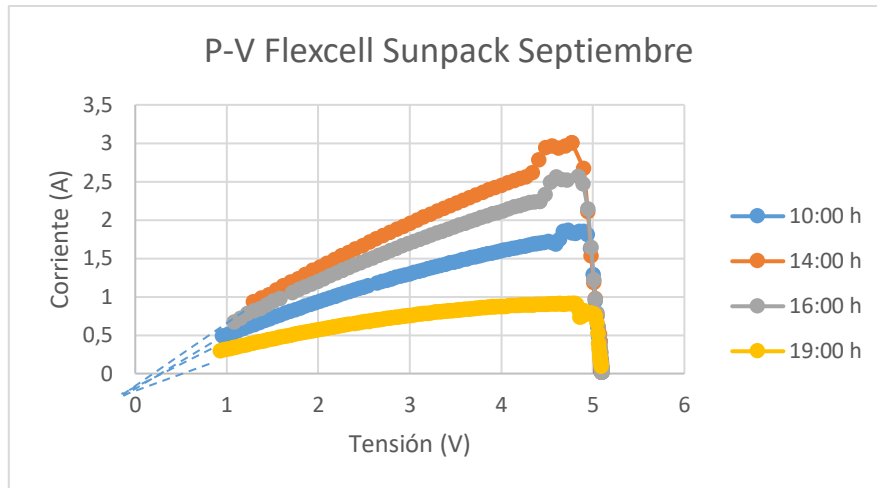


Fig. 4.33 Curvas P-V del cargador Flexcell Sunpack en septiembre

Para los dos paneles fotovoltaicos, las gráficas de septiembre nos demuestran las variaciones que sufren tanto las curvas corriente-tensión como las de potencia-tensión en diferentes tiempos del día. Evidentemente la curva que demuestra más potencia entregada por el panel es la de las 14:00 h debido a la mayor irradiancia que se ha medido a esa hora, la siguiente es la de las 16:00 h, donde las dos últimas son las curvas de las 10:00 h y de las 19:00 h respectivamente. Sabiendo que las horas solares picos son entre las 09:00h y las 15:00 h, por lo tanto, es normal que la irradiancia del ensayo de las 14:00 h sea la máxima. Los valores de la potencia entregada por los paneles coinciden con lo que se ha presentado en las gráficas, dando la mayor potencia en el periodo de más de irradiancia, también se puede ver a la hora de cargar la batería que la tensión siempre rodea los 5V, que es lo que ofrece un puerto USB, y que la única variable en este caso es la corriente.

Por lo tanto, los resultados experimentales confirman lo que se ha mencionado anteriormente en la definición de una curva I-V, ya que se ve claramente que la curva característica se desplaza hacia abajo a medida que se va disminuyendo la irradiancia solar durante todo el día que conduce a una bajada de potencia eléctrica entregada por el panel y para ello en la carga de una batería de un teléfono móvil.

- Las gráficas de enero

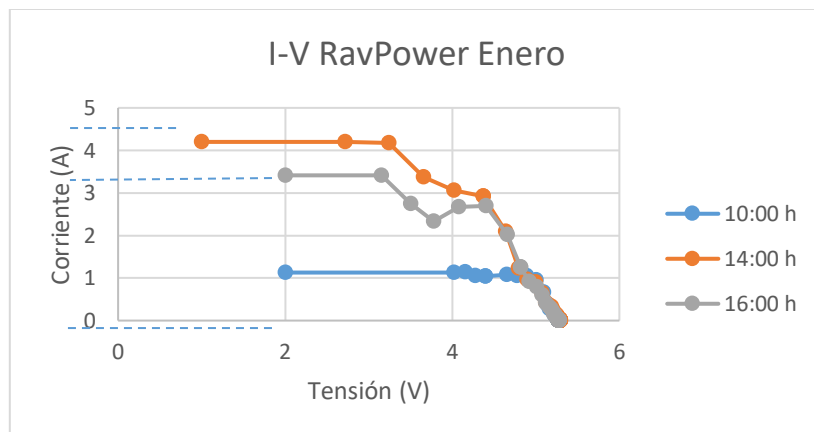


Fig. 4.34 Curvas I-V del cargador RavPower en enero

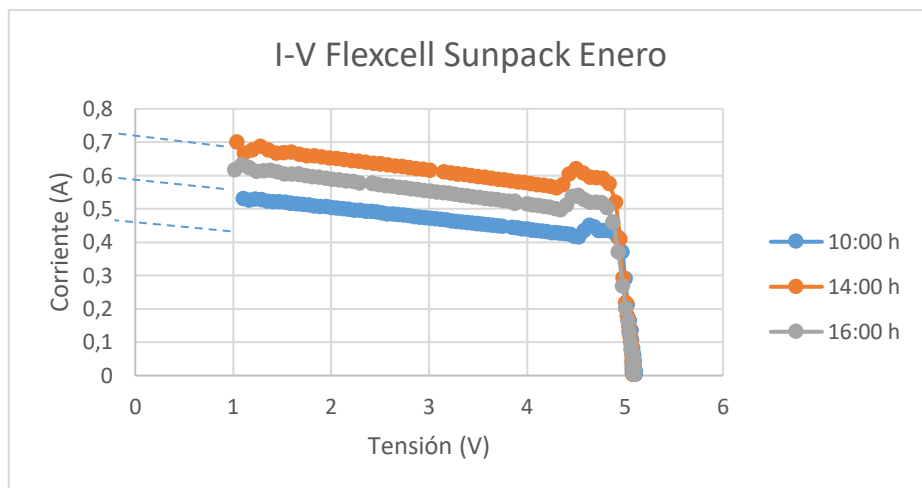


Fig. 4.35 Curvas I-V del cargador Flexcell Sunpack en enero

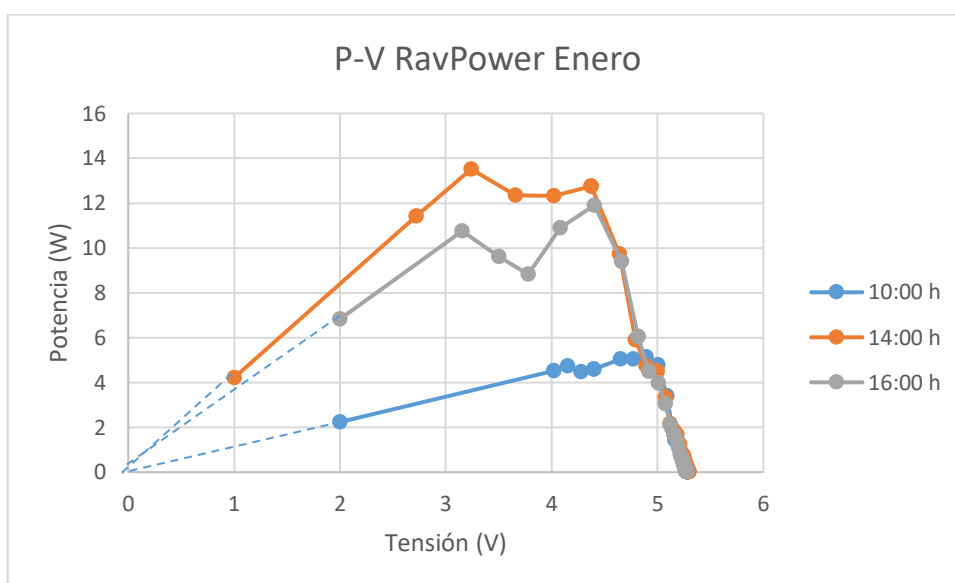


Fig. 4.36 Curvas P-V del cargador RavPower en enero

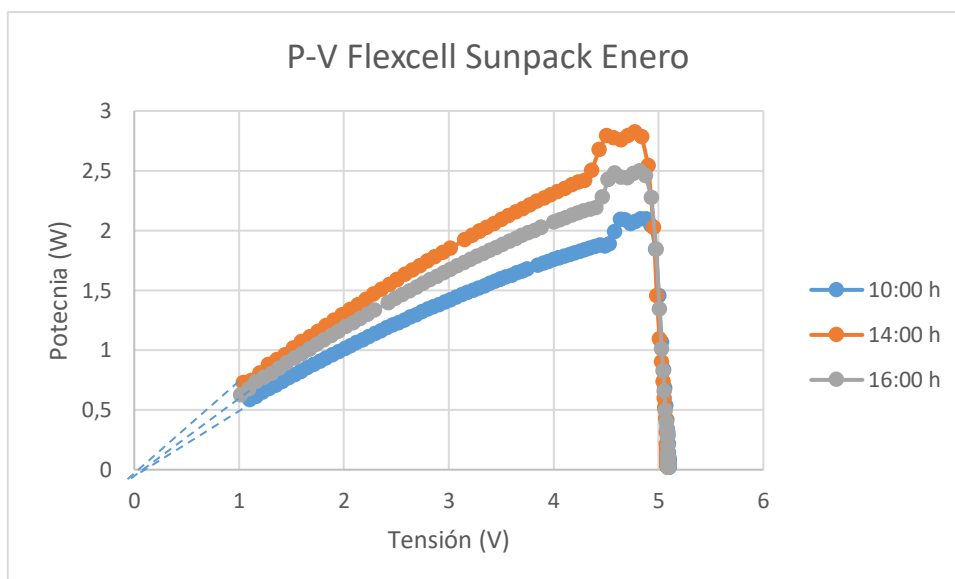


Fig. 4.37 Curvas P-V del cargador Flexcell Sunpack en enero

Para el mes de enero, se ha encontrado con el mismo fenómeno, ya que una vez más la curva que representa más potencia que es la de las 14:00 h y la última es la de las 10:00 h, también se puede observar el desplazamiento de las curvas hacia abajo a medida que se va bajando la irradiancia durante todo el día y por lo tanto la potencia entregada a un teléfono móvil.

El comportamiento de los cargadores solares en los meses de enero y septiembre es lo esperado, donde también se puede ver el comportamiento de los cargadores para diferentes temperaturas. EL caso más claro es la curva de las 14:00 h de los dos meses, debido a que para una diferencia de irradiancias de 32 W/m^2 ($1022-990=32 \text{ W/m}^2$) y una diferencia de temperatura de 22°C ($43-21=22^\circ\text{C}$), la potencia máxima entregada por el mismo panel es casi la misma ($13,51 \text{ W} \approx 13,68 \text{ W}$), confirmando así el efecto de la temperatura sobre los paneles fotovoltaicos.

- El ensayo de carga de batería

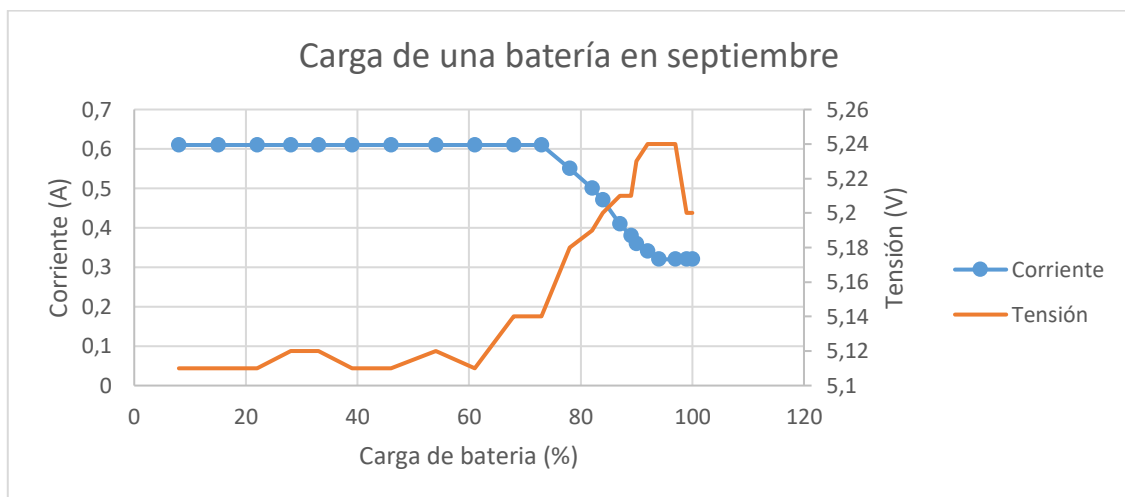


Fig. 4.38 Tensión y corriente frente al porcentaje de carga de batería en septiembre

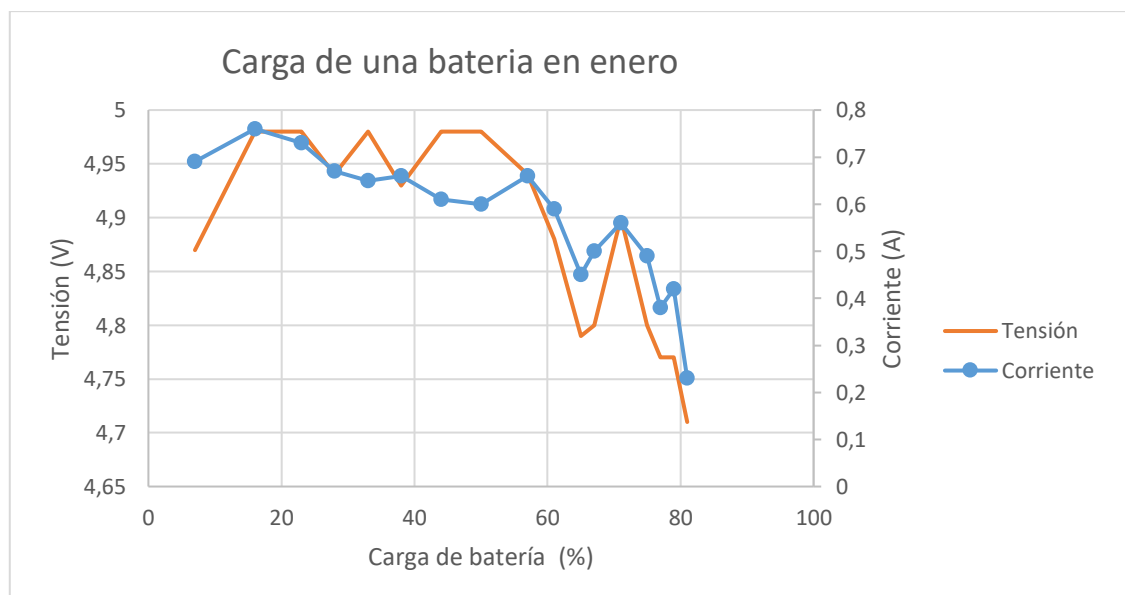


Fig. 4.39 Tensión y corriente frente al porcentaje de carga de batería en enero

Como se ha mencionado anteriormente en el apartado de fases de carga de una batería, que empieza por la fase BULK que se hace a una corriente constante, dando el primer impulso de carga a la batería usando la máxima potencia posible, que en el caso de la carga de septiembre llega hasta un 80% de la carga máxima de la batería, después entra la fase de absorción donde la corriente va disminuyendo hasta completar la carga de batería.

En el mes de enero se observa que ni la corriente ni la tensión son constantes y sufren unas variaciones en la fase de BULK. Eso debido a que durante el proceso de carga la irradiancia no es constante en todo momento y disminuye de una forma más rápida durante el día y por lo tanto la corriente entregada por el cargador baja también.

Respecto a la corriente, en enero no se ha mantenido constante en la fase BULK y ha sufrido unas disminuciones durante todo el proceso de carga, donde al final el panel no ha podido entregar más corriente debido al bajo valor de irradiancia, Para la tensión se observa que empezó subiendo en los primeros momentos de carga, pero luego empezó a sufrir variaciones.

4.3. OBTENCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA MEDIANTE MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

Al no tener documentaciones suficientes del cargador solar, se ha pensado en usar métodos que nos permiten obtener los parámetros importantes de un panel fotovoltaico, ya que es el elemento más importante del cargador solar. El objetivo es utilizar una herramienta que nos ofrece los puntos más significativos de una curva I-V para distintos valores de temperatura e irradiancia.

4.3.1. Cálculo de n , R_s y R_p

Al principio ha de conseguir el valor inicial de n a partir de la ecuación (3.30). Igualmente se calculan $R_s(0)$ y $R_p(0)$ utilizando las ecuaciones (3.16) y (3.21). Para la siguiente iteración se repite el proceso a partir de las ecuaciones de origen, donde el resto de los valores se van obteniendo por iteración. En el código de Matlab se ha utilizado un contador de las iteraciones realizadas hasta que la R_s (por ser la respuesta del modelo más sensible frente a las variaciones de este parámetro) de una iteración que difiera con la anterior en un valor inferior a la tolerancia ($tol=0.0001$).

4.3.2. Comprobaciones de los resultados

Para la comprobación de la herramienta, se ha decidido obtener los valores de los puntos más significativos de la curva I-V, y comprobarlos con los datos experimentales que se han medido. Al no disponer de los datos característicos del panel RavPower en condiciones estándar de medida, se midieron experimentalmente. Entre todos los datos tomados, los que más se acercan a las condiciones de 1000 W/m^2 y 25°C de temperatura de célula fueron los tomados en enero a las 14:00 h.

Voc (V)	Isc (A)	Vmp (V)	Imp (A)	Pmp (W)
5,30	4,20	3,20	3,70	11,80

Tabla 4.34 Puntos característicos de la curva I-V en las condiciones estándar

Utilizando el código de Matlab que implementa el Modelo 1 (Ver fig.3.13), se va a calcular los parámetros del modelo 1 y después, aplicando el código de Matlab del Modelo 2, se van a obtener los mismos puntos para condiciones diferentes de temperatura e irradiancia. Después se compararán con los datos experimentales obtenidos en las mismas condiciones.

Las siguientes tablas reflejan los datos de los puntos más significativos de la curva I-V del panel fotovoltaico RavPower, obtenidos experimentalmente y mediante el método de estimación de los parámetros de un panel solar fotovoltaico, haciendo al final una comparación mediante el cálculo del error.

	Voc (V)	Isc (A)	Vmp (V)	Imp (A)	Pmp (W)	T(°C)	G(W/m ²)
Experimentales	5,20	1,10	4,90	1	4,90	19	700
Matlab	5,25	3,03	4,20	2,28	11,86		
Error (%)	0,96	175	14,28	128	142		

Tabla 4.35 Mes de enero a las 10:00 h

	Voc (V)	Isc (A)	Vmp (V)	Imp (A)	Pmp (W)	T(°C)	G(W/m ²)
Experimentales	5,27	3,41	4,40	3,38	11,90	21	883
Matlab	5,25	3,74	3,25	3,39	11,03		
Error (%)	0,37	9,67	26,13	0,29	7,31		

Tabla 4.36 Mes de enero a las 16:15 h

	Voc (V)	Isc (A)	Vmp (V)	Imp (A)	Pmp (W)	T(°C)	G(W/m ²)
Experimentales	5,20	2,70	4,50	2,51	12,1	17	829
Matlab	5,32	3,60	4,20	3,30	13,90		
Error (%)	2,30	33,33	6,66	31,47	14,87		

Tabla 4.37 Mes de septiembre a las 10:00 h

	Voc (V)	Isc (A)	Vmp (V)	Imp (A)	Pmp (W)	T(°C)	G(W/m ²)
Experimentales	5,20	3,54	4	3,45	13,90	43	1022
Matlab	4,92	4,49	3,70	4	15		
Error (%)	5,38	26,83	7,50	15,94	7,91		

Tabla 4.38 Mes de septiembre a las 14:00 h

	Voc (V)	Isc (A)	Vmp (V)	Imp (A)	Pmp (W)	T(°C)	G(W/m ²)
Experimentales	5,20	3,25	4	3,10	12,30	44	996
Matlab	4,90	4,38	3,65	4	14,60		
Error (%)	5,76	34,76	8,75	29,03	18,70		

Tabla 4.39 Mes de septiembre a las 16:13 h

	Voc (V)	Isc (A)	Vmp (V)	Imp (A)	Pmp (W)	T(°C)	G(W/m ²)
Experimentales	5,20	2,70	4,20	2,60	10,90	27	560
Matlab	5	2,40	4	2,24	9,19		
Error (%)	3,84	11,11	4,76	13,84	15,68		

Tabla 4.40 Mes de septiembre a las 19:00 h

Observando los resultados, se ve que existe una disparidad en el error entre los datos experimentales y los obtenidos con los modelos. El error mínimo (0,37%), en general, se da en la estimación de la tensión de circuito abierto y el error máximo en la estimación (175%) en la corriente de cortocircuito en el mes de enero (en el que los valores de irradiancia son muy bajas respecto a las condiciones estándar de medida). Sin embargo haciendo una comparación en los meses de septiembre se observa que el error es bastante menor y que la herramienta puede ser útil para dar una idea general del funcionamiento del cargador (pero nunca los datos reales de funcionamiento).

5. CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES TÉCNICAS

El objetivo global de realizar un estudio energético sobre los cargadores solares para los teléfonos móviles se ha conseguido:

- 1- Se ha realizado un estudio del arte de los cargadores solares actualmente en el mercado. Se ha constatado la carencia de documentación técnica de los mismos.
- 2- Se han seleccionado dos cargadores solares de diferente tecnología y una batería típica de los teléfonos móviles actuales.
- 3- Se han obtenido las curvas características I-V de dos cargadores solares en diferentes condiciones de irradiancia y temperatura. Para ello se han tomado medidas a lo largo de días típicos del mes de septiembre y del mes de enero y se ha evaluado el tiempo de carga típico en esas condiciones.

En las gráficas de comparación de los dos meses se ha notado que en algunos casos las curvas I-V son casi idénticas, aunque la irradiancia no es igual en ambos casos: eso es debido a que las temperaturas medias en el mes de septiembre son superiores a las de enero y disminuye el rendimiento del panel fotovoltaico.

En general, la carga de la batería en los dos meses no lleva el mismo tiempo; en el caso del día elegido en el mes de enero no se ha podido completar la carga de una batería de un teléfono móvil por falta de horas de luz y de irradiancia media. Solo pudimos cargar la batería hasta un 80% de su carga máxima debido a que había nubes que dificultaban la incidencia de la luz solar sobre el panel fotovoltaico. Se comenzó con cielo despejado, con una irradiancia que rodea los 1000 W/m², pero al paso de las horas se ha ido disminuyendo de forma muy rápida llegando a valores de 5 W/m² donde el panel no era capaz de entregar corriente ninguna. Respecto al mes de septiembre, para el día elegido, la carga de batería fue muy satisfactoria ya que se ha conseguido cargar al 100% la batería del móvil en un tiempo razonable de 150 min. La carga se completó gracias a los altos valores de irradiancia mantenidos todo el día. No había nubes ni ningún fenómeno que dificultase la incidencia de los rayos de sol, por lo tanto, los resultados fueron muy satisfactorios. La única dificultad que se ha tenido en este mes fue la alta temperatura que calentaba los paneles solares hasta valores de 41°C. Como se ha mencionado anteriormente estos valores tan altos disminuyen el rendimiento del panel solar, por lo tanto, el cargador podría haber entregado más potencia en condiciones de temperaturas mejores. Un día totalmente despejado de enero habría reducido el tiempo de carga del día elegido en septiembre.

- 4- Se ha medido las condiciones de tensión y corriente a la salida de los módulos fotovoltaicos en ambos cargadores y se han comparado con las de trabajo en el punto de máxima potencia de las curvas I-V, comprobado que en ningún momento la carga se hace en condiciones de máxima potencia. Se concluye que ninguno de los reguladores lleva seguidor del punto de máxima potencia.

Todos los resultados nos confirman que en ningún caso ningún panel trabaja en ese punto, ya que la potencia que se ha obtenido a través de multiplicar la tensión por la corriente, que se han medido conectando el cargador solar al móvil en las mismas condiciones de irradiancia y temperatura que se han usado para sacar la curva I-V, no coincide con el punto de máxima potencia de las curvas. Estos resultados nos llevan a la conclusión de que estamos desaprovechando la potencia máxima del panel fotovoltaico, y que estamos trabajando por debajo del punto ideal. Por lo tanto, concluimos que los cargadores solares analizados no llevan ningún tipo de regulador MPPT. Sin embargo, al hacer una medición de tensión y corriente antes y después del puerto USB que lleva uno de los cargadores solares analizados, se ha observado que la tensión es distinta en ambos lados. El panel en condiciones máximas ofrece hasta 7,8 V y sin embargo la salida del puerto USB aporta 5V (que es la tensión para la que ha sido diseñada la carga de la batería del móvil). Por lo tanto, se llega a la conclusión de que el cargador lleva un regulador PWM que controla la tensión para proteger la batería de sobretensiones que puedan resultar perjudiciales para la batería. Evidentemente la utilización del regulador MPPT junto con la del regulador PWM haría que el cargador presentara un mayor rendimiento (hasta un 15% mayor) y reduciría el tiempo de carga de las baterías a costa de encarecerlo. El cargador solar con MPPT podría incrementar su precio entre un 30 y un 40%. El regulador MPPT normalmente se usa en aplicaciones superiores a los 2 kW. Por lo tanto, hoy en día el PWM es una solución válida que permite regular la tensión y proteger nuestros dispositivos.

5- Como las curvas I-V de los paneles de los cargadores solares sufren variaciones a lo largo de la vida de los paneles, por degradación de los mismos pero fundamentalmente por las variaciones de las condiciones de trabajo (temperatura e irradiancia) y solo se han tomado medidas en los meses de septiembre y enero, se ha realizado un modelo que represente al generador fotovoltaico del cargador, que permita la extrapolación de las curvas I-V para otras condiciones de trabajo.

Respecto al desarrollo de los modelos para prever el funcionamiento de los módulos en condiciones distintas a las de los ensayos, los resultados obtenidos han sido muy dispares y en cualquier caso mucho peores que los que se obtienen aplicando los modelos al ensayo de módulos fotovoltaicos de silicio de mayor potencia. Como trabajo futuro se propone el depurar los modelos para aplicarlos a la tecnología y diseño de los módulos usados en los cargadores, que a su vez son de potencia y tecnología variada.

5.1. CONCLUSIONES PERSONALES

En general los cargadores solares son muy útiles porque nos permiten obtener electricidad de la manera más limpia posible y en lugares donde no hay acceso a la red eléctrica, estos equipos se han mejorado bastante en los últimos años, disminuyendo sus tamaños que nos ha facilitado llevarlos a todos los sitios sin ningún problema. La mayor frecuencia de utilización de los teléfonos móviles nos ha obligado a buscar formas más eficaces de abastecer nuestras necesidades y no hay mejor manera que no presenta casi ningún riesgo al medio ambiente que un cargador solar.

Siempre se pregunta ¿Por qué no están utilizados en nuestra vida cotidiana como el resto de los cargadores?

A niveles industriales la utilización de las energías renovables y sobre todo la fotovoltaica ha crecido bastante en los últimos 20 años por las grandes ventajas que presentan, sin embargo, a nivel individual todavía hay margen de progresar y mejorar varios aspectos, que uno de ellos es usar una energía limpia en nuestras necesidades diarias.

Desde mi punto de vista la principal solución es fomentar la utilización de energías limpias entre la gente y tomarse el tema como un asunto muy serio que nos puede salvar de la polución, las emisiones de gases de efecto invernadero y problemas de salud. Se puede mencionar también el precio del producto que es bastante más alto que el de un cargador normal que nos puede costar unos 20€ frente a más de 50€ para uno solar.

La baja fiabilidad de suministro también afecta a su utilización, ya que en algunos días del año ese equipo no se puede utilizar por falta de irradiancia a causa de las nubes o lluvia, o que la carga del dispositivo móvil puede tardar bastantes horas.

Un posible trabajo futuro podría evaluar las horas de trabajo del cargador mínimas para evitar las emisiones que ha requerido su construcción.

El aspecto más extraño que se ha encontrado a la hora de hacer este estudio es que no se ha podido encontrar ningún tipo de reglamentos o documentación sobre los cargadores solares, por lo tanto, este fenómeno ha permitido a los fabricantes a vender sus equipos sin documentación técnica que permita saber el funcionamiento real del cargador. Para ello se ha utilizado el método de estimación de los parámetros de un panel fotovoltaico para saber si es posible obtener datos más significativos de la curva característica del panel para cualquier irradiancia y temperatura, llegando a la conclusión a que la herramienta nos puede ofrecer unos resultados aproximados del funcionamiento real pero siempre y cuando se tenga la posibilidad de acceder a las mediciones obtenidas en las condiciones estándar del sistema, cosa que no es fácil de conseguir en un cargador solar.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. GFR full Report 2017
2. Energía eléctrica y el medio ambiente| **Endesa Educa** [Fecha de acceso: 16 de enero de 2018]. Available: https://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/xxv.-la-energia-electrica-y-el-medio-ambiente#energia%20electronica
3. Carolina Calvo Pérez. “Cargador solar para dispositivos electrónicos de bajo voltaje en comunidades rurales aisladas de red”, UC3M, Madrid, TFG 2015-2016.
4. AM118 XTORM basalt solar charger [Fecha de acceso: 06 de febrero de 2018]. Available: <https://www.xtorm.eu/es/solar-chargers/xtorm-basalt-solar-charger/>
5. Cargadores solares | **Blog Lenovo** [Fecha de acceso: 17 de enero de 2018]. Available: <https://www.bloglenovo.es/cargadores-solares-realmente-funcionan/>
6. AP175 SOLARBOOSTER 24 Watts panel [Fecha de acceso: 06 de febrero de 2018]. Available: <https://www.xtorm.eu/es/solarboosters/solarbooster-24-watts-panel/>
7. Gema Montiel Bustos. “Análisis y comparación de las diferentes tecnologías actuales de las células solares” UC3M, Madrid, TFG marzo 2009.
8. ¿Cómo funciona la energía solar fotovoltaica? | **Twenergy** [Fecha de acceso: 06 de febrero de 2018]. Available: <https://twenergy.com/a/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica-339>
9. Panel solar monocristalino | **SOLENER** [Fecha de acceso: 06 de febrero de 2018]. Available: <http://www.solener.info/producto.php?REF=99>
10. Paneles solares fotovoltaicos | Instalaciones y eficiencia energética [Fecha de acceso: 06 de febrero de 2018]. Available: <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/paneles-solares-fotovoltaicos/>
11. Panel solar policristalino | **SOLENER** [Fecha de acceso: 06 de febrero de 2018]. Available: <http://www.solener.info/producto.php?REF=318>
12. Tinta de silicio permite hacer paneles solares más baratos y eficientes | **Mundo solar** [Fecha de acceso: 06 de febrero de 2018]. Available: <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/tinta-de-silicio-permite-hacer-paneles-solares-mas-baratos-y-eficientes/>
13. Nano tinta de silicio | **Energética futura** [Fecha de acceso: 06 de febrero de 2018]. Available: <https://energeticafutura.com/blog/nano-tinta-de-silicio-nuevas-celulas-fotovoltaicas/>
14. Ventajas e inconveniente de las placas solares flexibles | **Damia Solar** [Fecha de acceso: 06 de febrero de 2018]. Available: https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/ventajas-inconvenientes-paneles-solares-flexibles_1
15. María José Pérez Regalado. “Estudio termográfico de la influencia de la temperatura en los módulos fotovoltaicos”, UC3M, Madrid, TFG junio 2010.
16. Tecnología de fabricación de la célula solar | Curso de energía solar fotovoltaica de la universidad de Jaén [Fecha de acceso: 11 de febrero de 2018] Available: https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm .

17. Tipo de paneles solares en el sector fotovoltaico (artículo elaborado por el departamento técnico de la empresa SunFields Europe) | SunFields Europe [Fecha de acceso: 11 de febrero de 2018] Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/tipos-de-paneles-solares-fotovoltaicos/>
18. Carga batería con un bonsái solar | Ingeniería real Europe [Fecha de acceso: 11 de febrero de 2018] Available: <https://ingenieriareal.com/cargar-celular-bonsai-solar/>
19. Bruno Ramos Sánchez. “Modelo del generado de un sistema de bombeo fotovoltaico”, UC3M, Madrid, TFG septiembre 2014.
20. GOW.J.A.; MANNING. C.D. “Development of a photovoltaic array model for use in Power electronics simulation studies” IEE Proceedings on Electric Power Applications.1999.vol. 146.Nº 2. p. 193-200.
21. Empresa NEOTEO | Cargador USB de pared [Fecha de acceso: 11 de febrero de 2018] Available: <http://www.servisystem.com.ar/NEOTEO/Cargador%20USB%20de%20pared/Cargador%20USB%20de%20pared.htm>

7. ANEXOS**7.1. EJEMPLO DE TABLA DE DATOS DEL ENSAYO DE SEPTIEMBRE**

Punto	T (mseg)	V ens.(mV)	I ens.(mA)	V (V)	I (A)	P (W)
1	0	0	0	0	0	0
2	1	-1	0	-0,001	0	0
3	2	0	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0
5	4	-1	0	-0,001	0	0
6	5	-1	0	-0,001	0	0
7	6	-1	0	-0,001	0	0
8	7	-1	0	-0,001	0	0
9	8	-2	0	-0,002	0	0
10	9	-2	0	-0,002	0	0
11	10	5	82	0,005	0,082	0,00041
12	11	54	540	0,054	0,54	0,02916
13	12	177	1103	0,177	1,103	0,195231
14	13	307	967	0,307	0,967	0,296869
15	14	371	440	0,371	0,44	0,16324
16	15	371	440	0,371	0,44	0,16324
17	16	407	363	0,407	0,363	0,147741
18	17	471	586	0,471	0,586	0,276006
19	18	546	598	0,546	0,598	0,326508
20	19	606	477	0,606	0,477	0,289062
21	20	659	477	0,659	0,477	0,314343
22	21	719	536	0,719	0,536	0,385384
23	22	781	526	0,781	0,526	0,410806
24	23	840	491	0,84	0,491	0,41244
25	24	898	496	0,898	0,496	0,445408
26	25	956	510	0,956	0,51	0,48756
27	26	1016	503	1,016	0,503	0,511048
28	27	1074	492	1,074	0,492	0,528408
29	28	1131	494	1,131	0,494	0,558714
30	29	1188	496	1,188	0,496	0,589248
31	30	1246	492	1,246	0,492	0,613032
32	31	1304	489	1,304	0,489	0,637656
33	32	1362	488	1,362	0,488	0,664656
34	33	1420	487	1,42	0,487	0,69154
35	34	1474	484	1,474	0,484	0,713416
36	35	1528	483	1,528	0,483	0,738024
37	36	1584	481	1,584	0,481	0,761904
38	37	1641	479	1,641	0,479	0,786039
39	38	1696	477	1,696	0,477	0,808992
40	39	1750	475	1,75	0,475	0,83125

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

41	40	1802	473	1,802	0,473	0,852346
42	41	1857	472	1,857	0,472	0,876504
43	42	1913	470	1,913	0,47	0,89911
44	43	1968	468	1,968	0,468	0,921024
45	44	2021	466	2,021	0,466	0,941786
46	45	2074	464	2,074	0,464	0,962336
47	46	2128	462	2,128	0,462	0,983136
48	47	2182	461	2,182	0,461	1,005902
49	48	2182	461	2,182	0,461	1,005902
50	49	2233	459	2,233	0,459	1,024947
51	50	2285	457	2,285	0,457	1,044245
52	51	2340	455	2,34	0,455	1,0647
53	52	2393	454	2,393	0,454	1,086422
54	53	2445	452	2,445	0,452	1,10514
55	54	2495	450	2,495	0,45	1,12275
56	55	2545	449	2,545	0,449	1,142705
57	56	2647	446	2,647	0,446	1,180562
58	57	2697	444	2,697	0,444	1,197468
59	58	2748	442	2,748	0,442	1,214616
60	59	2800	440	2,8	0,44	1,232
61	60	2800	440	2,8	0,44	1,232
62	61	2851	439	2,851	0,439	1,251589
63	62	2900	437	2,9	0,437	1,2673
64	63	2950	435	2,95	0,435	1,28325
65	64	3000	433	3	0,433	1,299
66	65	3049	432	3,049	0,432	1,317168
67	66	3098	430	3,098	0,43	1,33214
68	67	3147	428	3,147	0,428	1,346916
69	68	3195	427	3,195	0,427	1,364265
70	69	3243	425	3,243	0,425	1,378275
71	70	3292	423	3,292	0,423	1,392516
72	71	3340	422	3,34	0,422	1,40948
73	72	3388	420	3,388	0,42	1,42296
74	73	3434	419	3,434	0,419	1,438846
75	74	3481	417	3,481	0,417	1,451577
76	75	3529	415	3,529	0,415	1,464535
77	76	3577	414	3,577	0,414	1,480878
78	77	3623	412	3,623	0,412	1,492676
79	78	3669	411	3,669	0,411	1,507959
80	79	3715	409	3,715	0,409	1,519435
81	80	3761	408	3,761	0,408	1,534488
82	81	3806	406	3,806	0,406	1,545236
83	82	3853	404	3,853	0,404	1,556612
84	83	3900	402	3,9	0,402	1,5678
85	84	3945	400	3,945	0,4	1,578

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

86	85	3989	399	3,989	0,399	1,591611
87	86	4034	398	4,034	0,398	1,605532
88	87	4079	396	4,079	0,396	1,615284
89	88	4123	395	4,123	0,395	1,628585
90	89	4168	393	4,168	0,393	1,638024
91	90	4212	391	4,212	0,391	1,646892
92	91	4256	390	4,256	0,39	1,65984
93	92	4301	388	4,301	0,388	1,668788
94	93	4345	387	4,345	0,387	1,681515
95	94	4386	385	4,386	0,385	1,68861
96	95	4386	385	4,386	0,385	1,68861
97	96	4427	384	4,427	0,384	1,699968
98	97	4471	382	4,471	0,382	1,707922
99	98	4516	381	4,516	0,381	1,720596
100	99	4558	374	4,558	0,374	1,704692
101	100	4598	366	4,598	0,366	1,682868
102	101	4637	377	4,637	0,377	1,748149
103	102	4681	395	4,681	0,395	1,848995
104	103	4728	394	4,728	0,394	1,862832
105	104	4773	383	4,773	0,383	1,828059
106	105	4814	379	4,814	0,379	1,824506
107	106	4854	381	4,854	0,381	1,849374
108	107	4897	378	4,897	0,378	1,851066
109	108	4940	366	4,94	0,366	1,80804
110	109	4978	327	4,978	0,327	1,627806
111	110	5007	257	5,007	0,257	1,286799
112	111	5029	188	5,029	0,188	0,945452
113	112	5045	146	5,045	0,146	0,73657
114	113	5056	119	5,056	0,119	0,601664
115	114	5065	95	5,065	0,095	0,481175
116	115	5072	73	5,072	0,073	0,370256
117	116	5077	60	5,077	0,06	0,30462
118	117	5080	55	5,08	0,055	0,2794
119	118	5085	51	5,085	0,051	0,259335
120	119	5089	42	5,089	0,042	0,213738
121	120	5089	29	5,089	0,029	0,147581
122	121	5089	22	5,089	0,022	0,111958
123	122	5091	20	5,091	0,02	0,10182
124	123	5092	19	5,092	0,019	0,096748
125	124	5093	17	5,093	0,017	0,086581
126	125	5092	16	5,092	0,016	0,081472
127	126	5091	15	5,091	0,015	0,076365
128	127	5092	14	5,092	0,014	0,071288
129	128	5094	13	5,094	0,013	0,066222
130	129	5094	12	5,094	0,012	0,061128

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

131	130	5094	12	5,094	0,012	0,061128
132	131	5094	12	5,094	0,012	0,061128
133	132	5094	12	5,094	0,012	0,061128
134	133	5093	12	5,093	0,012	0,061116
135	134	5094	12	5,094	0,012	0,061128
136	135	5093	10	5,093	0,01	0,05093
137	136	5092	10	5,092	0,01	0,05092
138	137	5093	11	5,093	0,011	0,056023
139	138	5093	11	5,093	0,011	0,056023
140	139	5093	10	5,093	0,01	0,05093
141	140	5094	10	5,094	0,01	0,05094
142	141	5094	10	5,094	0,01	0,05094
143	142	5094	10	5,094	0,01	0,05094
144	143	5093	10	5,093	0,01	0,05093
145	144	5092	9	5,092	0,009	0,045828
146	145	5093	9	5,093	0,009	0,045837
147	146	5094	9	5,094	0,009	0,045846
148	147	5094	9	5,094	0,009	0,045846
149	148	5093	8	5,093	0,008	0,040744
150	149	5093	9	5,093	0,009	0,045837
151	150	5093	9	5,093	0,009	0,045837
152	151	5094	8	5,094	0,008	0,040752
153	152	5094	8	5,094	0,008	0,040752
154	153	5093	8	5,093	0,008	0,040744
155	154	5093	9	5,093	0,009	0,045837
156	155	5094	8	5,094	0,008	0,040752
157	156	5094	8	5,094	0,008	0,040752
158	157	5093	9	5,093	0,009	0,045837
159	158	5093	8	5,093	0,008	0,040744
160	159	5094	8	5,094	0,008	0,040752
161	160	5094	7	5,094	0,007	0,035658
162	161	5093	8	5,093	0,008	0,040744
163	162	5093	8	5,093	0,008	0,040744
164	163	5093	7	5,093	0,007	0,035651
165	164	5092	7	5,092	0,007	0,035644
166	165	5092	7	5,092	0,007	0,035644
167	166	5094	7	5,094	0,007	0,035658
168	167	5094	6	5,094	0,006	0,030564
169	168	5094	6	5,094	0,006	0,030564
170	169	5094	7	5,094	0,007	0,035658
171	170	5094	7	5,094	0,007	0,035658
172	171	5094	7	5,094	0,007	0,035658
173	172	5095	6	5,095	0,006	0,03057
174	173	5096	6	5,096	0,006	0,030576
175	174	5096	7	5,096	0,007	0,035672

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

176	175	5095	7	5,095	0,007	0,035665
177	176	5095	7	5,095	0,007	0,035665
178	177	5094	6	5,094	0,006	0,030564
179	178	5096	6	5,096	0,006	0,030576
180	179	5097	6	5,097	0,006	0,030582
181	180	5095	6	5,095	0,006	0,03057
182	181	5093	6	5,093	0,006	0,030558
183	182	5093	6	5,093	0,006	0,030558
184	183	5091	5	5,091	0,005	0,025455
185	184	5092	6	5,092	0,006	0,030552
186	185	5095	6	5,095	0,006	0,03057
187	186	5095	5	5,095	0,005	0,025475
188	187	5095	5	5,095	0,005	0,025475
189	188	5092	5	5,092	0,005	0,02546
190	189	5092	6	5,092	0,006	0,030552
191	190	5094	6	5,094	0,006	0,030564
192	191	5093	6	5,093	0,006	0,030558
193	192	5092	5	5,092	0,005	0,02546
194	193	5092	5	5,092	0,005	0,02546
195	194	5095	5	5,095	0,005	0,025475
196	195	5097	5	5,097	0,005	0,025485
197	196	5096	6	5,096	0,006	0,030576
198	197	5096	5	5,096	0,005	0,02548
199	198	5097	5	5,097	0,005	0,025485
200	199	5096	5	5,096	0,005	0,02548

7.2. EJEMPLO DE TABLA DE ENSAYOS DEL MES DE ENERO

Punto	T (mseg)	V ens.(mV)	I ens.(mA)	V(V)	I(A)	P(W)
1	0	1	0	0,001	0	0
2	1	2	0	0,002	0	0
3	2	0	0	0	0	0
4	3	-1	0	-0,001	0	0
5	4	0	0	0	0	0
6	5	1	0	0,001	0	0
7	6	0	0	0	0	0
8	7	-1	0	-0,001	0	0
9	8	0	0	0	0	0
10	9	0	1	0	0,001	0
11	10	0	9	0	0,009	0
12	11	24	218	0,024	0,218	0,005232
13	12	146	963	0,146	0,963	0,140598
14	13	379	1771	0,379	1,771	0,671209
15	14	612	1834	0,612	1,834	1,122408
16	15	786	1496	0,786	1,496	1,175856

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

17	16	954	1463	0,954	1,463	1,395702
18	17	1148	1624	1,148	1,624	1,864352
19	18	1148	1624	1,148	1,624	1,864352
20	19	1343	1624	1,343	1,624	2,181032
21	20	1706	1546	1,706	1,546	2,637476
22	21	1894	1588	1,894	1,588	3,007672
23	22	2081	1578	2,081	1,578	3,283818
24	23	2264	1554	2,264	1,554	3,518256
25	24	2445	1559	2,445	1,559	3,811755
26	25	2629	1568	2,629	1,568	4,122272
27	26	2813	1562	2,813	1,562	4,393906
28	27	2995	1555	2,995	1,555	4,657225
29	28	3175	1556	3,175	1,556	4,9403
30	29	3358	1557	3,358	1,557	5,228406
31	30	3358	1557	3,358	1,557	5,228406
32	31	3540	1553	3,54	1,553	5,49762
33	32	3718	1550	3,718	1,55	5,7629
34	33	3896	1550	3,896	1,55	6,0388
35	34	4075	1542	4,075	1,542	6,28365
36	35	4252	1517	4,252	1,517	6,450284
37	36	4424	1485	4,424	1,485	6,56964
38	37	4593	1464	4,593	1,464	6,724152
39	38	4759	1459	4,759	1,459	6,943381
40	39	4925	1475	4,925	1,475	7,264375
41	40	5097	1508	5,097	1,508	7,686276
42	41	5274	1521	5,274	1,521	8,021754
43	42	5446	1498	5,446	1,498	8,158108
44	43	5612	1470	5,612	1,47	8,24964
45	44	5779	1458	5,779	1,458	8,425782
46	45	5944	1440	5,944	1,44	8,55936
47	46	6103	1398	6,103	1,398	8,531994
48	47	6253	1336	6,253	1,336	8,354008
49	48	6396	1261	6,396	1,261	8,065356
50	49	6531	1171	6,531	1,171	7,647801
51	50	6653	1070	6,653	1,07	7,11871
52	51	6761	964	6,761	0,964	6,517604
53	52	6856	860	6,856	0,86	5,89616
54	53	6941	760	6,941	0,76	5,27516
55	54	7014	665	7,014	0,665	4,66431
56	55	7076	579	7,076	0,579	4,097004
57	56	7130	502	7,13	0,502	3,57926
58	57	7176	434	7,176	0,434	3,114384
59	58	7215	374	7,215	0,374	2,69841
60	59	7249	322	7,249	0,322	2,334178
61	60	7277	277	7,277	0,277	2,015729

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

62	61	7300	239	7,3	0,239	1,7447
63	62	7319	207	7,319	0,207	1,515033
64	63	7334	179	7,334	0,179	1,312786
65	64	7346	156	7,346	0,156	1,145976
66	65	7358	136	7,358	0,136	1,000688
67	66	7368	119	7,368	0,119	0,876792
68	67	7368	119	7,368	0,119	0,876792
69	68	7377	105	7,377	0,105	0,774585
70	69	7384	93	7,384	0,093	0,686712
71	70	7391	82	7,391	0,082	0,606062
72	71	7397	74	7,397	0,074	0,547378
73	72	7401	67	7,401	0,067	0,495867
74	73	7404	60	7,404	0,06	0,44424
75	74	7405	55	7,405	0,055	0,407275
76	75	7407	50	7,407	0,05	0,37035
77	76	7413	43	7,413	0,043	0,318759
78	77	7416	40	7,416	0,04	0,29664
79	78	7418	37	7,418	0,037	0,274466
80	79	7418	37	7,418	0,037	0,274466
81	80	7418	35	7,418	0,035	0,25963
82	81	7418	33	7,418	0,033	0,244794
83	82	7418	31	7,418	0,031	0,229958
84	83	7419	30	7,419	0,03	0,22257
85	84	7420	28	7,42	0,028	0,20776
86	85	7420	27	7,42	0,027	0,20034
87	86	7422	26	7,422	0,026	0,192972
88	87	7423	25	7,423	0,025	0,185575
89	88	7422	24	7,422	0,024	0,178128
90	89	7423	23	7,423	0,023	0,170729
91	90	7425	22	7,425	0,022	0,16335
92	91	7426	22	7,426	0,022	0,163372
93	92	7425	22	7,425	0,022	0,16335
94	93	7425	21	7,425	0,021	0,155925
95	94	7424	20	7,424	0,02	0,14848
96	95	7423	20	7,423	0,02	0,14846
97	96	7423	19	7,423	0,019	0,141037
98	97	7425	19	7,425	0,019	0,141075
99	98	7426	18	7,426	0,018	0,133668
100	99	7426	17	7,426	0,017	0,126242
101	100	7427	17	7,427	0,017	0,126259
102	101	7428	17	7,428	0,017	0,126276
103	102	7428	17	7,428	0,017	0,126276
104	103	7428	16	7,428	0,016	0,118848
105	104	7428	16	7,428	0,016	0,118848
106	105	7427	16	7,427	0,016	0,118832

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

107	106	7427	16	7,427	0,016	0,118832
108	107	7428	15	7,428	0,015	0,11142
109	108	7430	15	7,43	0,015	0,11145
110	109	7430	15	7,43	0,015	0,11145
111	110	7427	15	7,427	0,015	0,111405
112	111	7427	15	7,427	0,015	0,111405
113	112	7430	14	7,43	0,014	0,10402
114	113	7430	14	7,43	0,014	0,10402
115	114	7429	13	7,429	0,013	0,096577
116	115	7427	13	7,427	0,013	0,096551
117	116	7427	13	7,427	0,013	0,096551
118	117	7428	13	7,428	0,013	0,096564
119	118	7430	13	7,43	0,013	0,09659
120	119	7431	13	7,431	0,013	0,096603
121	120	7430	13	7,43	0,013	0,09659
122	121	7429	12	7,429	0,012	0,089148
123	122	7429	12	7,429	0,012	0,089148
124	123	7430	12	7,43	0,012	0,08916
125	124	7431	12	7,431	0,012	0,089172
126	125	7431	12	7,431	0,012	0,089172
127	126	7432	11	7,432	0,011	0,081752
128	127	7433	12	7,433	0,012	0,089196
129	128	7432	12	7,432	0,012	0,089184
130	129	7430	11	7,43	0,011	0,08173
131	130	7429	11	7,429	0,011	0,081719
132	131	7430	11	7,43	0,011	0,08173
133	132	7431	11	7,431	0,011	0,081741
134	133	7429	11	7,429	0,011	0,081719
135	134	7429	10	7,429	0,01	0,07429
136	135	7429	10	7,429	0,01	0,07429
137	136	7431	10	7,431	0,01	0,07431
138	137	7430	10	7,43	0,01	0,0743
139	138	7430	10	7,43	0,01	0,0743
140	139	7431	10	7,431	0,01	0,07431
141	140	7432	10	7,432	0,01	0,07432
142	141	7431	10	7,431	0,01	0,07431
143	142	7432	10	7,432	0,01	0,07432
144	143	7432	9	7,432	0,009	0,066888
145	144	7431	9	7,431	0,009	0,066879
146	145	7431	9	7,431	0,009	0,066879
147	146	7432	10	7,432	0,01	0,07432
148	147	7433	9	7,433	0,009	0,066897
149	148	7431	9	7,431	0,009	0,066879
150	149	7430	9	7,43	0,009	0,06687
151	150	7431	9	7,431	0,009	0,066879

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

152	151	7432	9	7,432	0,009	0,066888
153	152	7432	9	7,432	0,009	0,066888
154	153	7430	9	7,43	0,009	0,06687
155	154	7428	8	7,428	0,008	0,059424
156	155	7432	8	7,432	0,008	0,059456
157	156	7434	8	7,434	0,008	0,059472
158	157	7431	8	7,431	0,008	0,059448
159	158	7429	8	7,429	0,008	0,059432
160	159	7431	8	7,431	0,008	0,059448
161	160	7433	8	7,433	0,008	0,059464
162	161	7429	8	7,429	0,008	0,059432
163	162	7430	8	7,43	0,008	0,05944
164	163	7431	8	7,431	0,008	0,059448
165	164	7431	8	7,431	0,008	0,059448
166	165	7433	8	7,433	0,008	0,059464
167	166	7431	7	7,431	0,007	0,052017
168	167	7430	8	7,43	0,008	0,05944
169	168	7430	8	7,43	0,008	0,05944
170	169	7432	7	7,432	0,007	0,052024
171	170	7433	7	7,433	0,007	0,052031
172	171	7432	7	7,432	0,007	0,052024
173	172	7432	7	7,432	0,007	0,052024
174	173	7433	7	7,433	0,007	0,052031
175	174	7433	7	7,433	0,007	0,052031
176	175	7433	7	7,433	0,007	0,052031
177	176	7432	7	7,432	0,007	0,052024
178	177	7431	6	7,431	0,006	0,044586
179	178	7432	7	7,432	0,007	0,052024
180	179	7433	7	7,433	0,007	0,052031
181	180	7432	7	7,432	0,007	0,052024
182	181	7431	7	7,431	0,007	0,052017
183	182	7433	7	7,433	0,007	0,052031
184	183	7436	6	7,436	0,006	0,044616
185	184	7435	7	7,435	0,007	0,052045
186	185	7433	7	7,433	0,007	0,052031
187	186	7432	7	7,432	0,007	0,052024
188	187	7433	7	7,433	0,007	0,052031
189	188	7432	6	7,432	0,006	0,044592
190	189	7431	6	7,431	0,006	0,044586
191	190	7432	6	7,432	0,006	0,044592
192	191	7433	6	7,433	0,006	0,044598
193	192	7435	6	7,435	0,006	0,04461
194	193	7435	6	7,435	0,006	0,04461
195	194	7433	6	7,433	0,006	0,044598
196	195	7432	6	7,432	0,006	0,044592

ESTUDIO ENERGÉTICO DE CARGADORES SOLARES PARA TELÉFONOS MÓVILES

197	196	7434	6	7,434	0,006	0,044604
198	197	7435	6	7,435	0,006	0,04461
199	198	7432	6	7,432	0,006	0,044592
200	199	7431	6	7,431	0,006	0,044586